

**Е. В. ИКАНИНА  
В. Ф. МАРКОВ**

# ОСНОВЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА

Е. В. Иканина  
В. Ф. Марков

# ОСНОВЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Учебное пособие

Рекомендовано методическим советом УрФУ  
для студентов, обучающихся по программе бакалавриата  
по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология»

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2017

УДК 542(075.8)  
ББК 35я73-1  
И41

Рецензенты:

кафедра химии и процессов горения Уральского института  
Государственной противопожарной службы МЧС России  
(начальник кафедры кандидат технических наук, доцент И. М. Фоминых);

М. Г. Зуев, доктор химических наук  
(Институт химии твердого тела УрО РАН)

**Иканина, Е. В.**

И41 Основы ресурсосбережения в химической технологии : учеб.  
пособие / Е. В. Иканина, В. Ф. Марков ; М-во образования и науки  
Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал.  
ун-та, 2017. — 100 с.

ISBN 978-5-7996-2194-0

В учебном пособии представлен систематизированный теоретический и практический материал по инженерной экологии и ресурсосбережению, проиллюстрированный на конкретных примерах. Учтены современные требования по нормированию качества и защите окружающей среды. Приведены примеры решения производственных задач в области экологии.

Для студентов высших технических учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Химическая технология» или смежным направлениям. Также будет полезно инженерно-техническим работникам, занимающимся вопросами экологии и ресурсосбережения.





УДК 542(075.8)  
ББК 35я73-1

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Условные обозначения</b> .....	5
<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	6
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	8
<b>1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ</b> .....	11
1.1. Основные понятия .....	11
1.2. Законы экологии Б. Коммонера .....	13
1.3. Методы исследований в экологии .....	15
1.4. Структура экологии .....	19
Контрольные вопросы .....	21
<b>2. НОРМИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ</b>	
<b>КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b> .....	23
2.1. Санитарно-гигиенические нормативы .....	24
2.1.1. Нормативы загрязнения атмосферного воздуха .....	25
2.1.2. Нормативы загрязнения грунтовых и поверхностных вод .....	28
2.1.3. Нормативы загрязнения почвы .....	29
2.1.4. Допустимые физические воздействия на рабочих местах: нормирование и средства защиты .....	30
2.2. Производственно-хозяйственные нормативы .....	36
2.3. Экологический мониторинг .....	38
2.4. Экологическое законодательство и экологическая информация .....	40
Контрольные вопросы .....	41
<b>3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ</b>	
<b>ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</b>	
<b>И РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ РЕШЕНИЯ</b> .....	42
3.1. Выбросы химических предприятий и пути их снижения .....	43
3.1.1. Состав атмосферного воздуха .....	43
3.1.2. Озоновый слой .....	44
3.1.3. Классификация выбросов .....	46
3.1.4. Основные антропогенные загрязнители воздуха .....	47
3.1.5. Последствия загрязнения атмосферы .....	49
3.1.6. Пути снижения выбросов и их вредного воздействия .....	52

3.2. Стоки химических предприятий и пути сокращения водопотребления .....	53
3.2.1. Вода в химической промышленности .....	53
3.2.2. Классификация сточных вод .....	55
3.2.3. Основные антропогенные загрязнители гидросферы .....	57
3.2.4. Биогенные и токсические свойства тяжелых цветных металлов .....	57
3.2.5. Последствия загрязнения гидросферы .....	60
3.2.6. Пути уменьшения количества сточных вод .....	61
3.2.7. Системы водоснабжения промышленных предприятий .....	62
3.3. Отходы химических предприятий и области их вторичного применения .....	64
3.3.1. Классификация отходов .....	64
3.3.2. Области вторичного применения отходов .....	66
3.4. Экологическая опасность нанотехнологий .....	67
Контрольные вопросы .....	67
<b>4. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВЫБРОСОВ, СБРОСОВ И ОТХОДОВ .....</b>	<b>69</b>
4.1. Методы обезвреживания аэрозолей .....	69
4.1.1. Сухие механические методы .....	69
4.1.2. Мокрый механический метод .....	71
4.1.3. Электрический метод .....	72
4.2. Методы очистки выбросов от газообразных примесей .....	73
4.2.1. Абсорбция .....	73
4.2.2. Адсорбция .....	74
4.2.3. Термическое дожигание и каталитические методы очистки .....	76
4.3. Рекуперация пыли и других продуктов очистки .....	77
4.4. Механические методы очистки стоков .....	78
4.5. Физико-химические методы очистки стоков .....	79
4.5.1. Методы очистки от мелкодисперсных примесей .....	79
4.5.2. Методы очистки от растворимых минеральных и органических веществ .....	81
4.6. Химические методы очистки стоков .....	84
4.7. Биохимические методы очистки стоков .....	84
4.8. Термические методы очистки стоков .....	85
4.9. Методы переработки отходов, вторичное применение которых нецелесообразно .....	86
4.9.1. Огневая переработка .....	86
4.9.2. Термическая переработка .....	87
4.9.3. Захоронение, хранение и компостирование .....	88
Контрольные вопросы .....	89
<b>Примеры решения задач .....</b>	<b>91</b>
<b>Список рекомендуемой литературы .....</b>	<b>98</b>

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

-  Термины и определения
-  Сведения, приводящиеся в качестве примеров
-  Информация, на которую следует обратить внимание
-  Формулы или соотношения между величинами, которые надо запомнить

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Сегодня Россия — самая богатая страна в мире по количеству природных ресурсов, но любые запасы могут быть исчерпаны. Это относится даже к возобновляемым ресурсам, например, к древесине, так как восстановление лесов требует продолжительного времени и соответствующих действий со стороны человека.

В каком состоянии будет находиться окружающая среда завтра и сохранит ли наша страна лидирующие позиции, зависит от каждого из нас, но, в первую очередь, — от специалистов инженерно-технического профиля, поэтому очень важно обеспечить высокое качество их подготовки в сфере экологии и ресурсосбережения. Важную роль в образовательном процессе играют учебные материалы.

В данном учебном пособии сделан упор на формирование инженерных знаний в области экологии и чувства социальной ответственности у студентов технических вузов, которые позволят им квалифицированно решать в будущем экологические вопросы в сфере своей профессиональной деятельности.

Каждая глава начинается с необходимых терминов и определений, многие из которых даны в авторской трактовке. Весь теоретический материал снабжен практическими сведениями или опытными данными, приводящимися в качестве примеров, а там, где это необходимо, дополнен иллюстрациями и таблицами. Разобраны примеры решения задач, условия для которых взяты авторами из реальных производственных ситуаций. В списке литературы, помещенном в конце пособия, перечислены монографии и руководства, необходимые для более глубокого изучения материала, а также приведены законодательные акты и другие нормативные документы по вопросам экологии.

В пособии большое внимание уделяется возможным направлениям создания малоотходных и безотходных химических

производств, изложены основы нормирования веществ, загрязняющих окружающую среду. Отдельный раздел пособия посвящен описанию вредных и опасных условий труда на химических предприятиях, а также коллективным и индивидуальным средствам защиты персонала.

Учебное пособие разработано в соответствии с требованиями ФГОС ВО от 11.08.2016 г. № 1005 по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология» (уровень бакалавриата). Пособие рассчитано на студентов химико-технологических и экологических специальностей, а также может быть полезно научным и инженерно-техническим работникам, занимающимся вопросами экологии и ресурсосбережения.

Авторы благодарят сотрудников кафедры ХТТиПЭ, ХТИ за помощь в составлении условий задач.

*Учебное пособие написано на основании данных научного исследования по теме «Разработка энергосберегающего метода подготовки воды для тепловых и атомных электростанций», направление модернизации «Энергоэффективность и энергосбережение, в том числе вопросы разработки новых видов топлива». Исследование выполнено при финансовой поддержке стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, СП-622.2015.1.*



## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед человечеством стоит ряд глобальных проблем, от успешного решения которых зависит безопасность общества и стабильность экономики. К ним, в первую очередь, относится загрязнение окружающей среды, изменение климата, озоновые дыры, кислотные дожди и обезлесение территорий. Самый короткий и эффективный путь решения обозначенных проблем — это применение безотходных и ресурсосберегающих технологий, разработкой и исследованием которых занимается инженерная экология.

Экология — сравнительно молодая наука, зародившаяся в середине XIX в. как биологическая дисциплина, основоположником которой является Э. Геккель. По мере своего развития экология перестала быть одним из разделов биологии и превратилась в самостоятельное научное направление на стыке общественных, естественных и технических дисциплин. Современная экология является междисциплинарной наукой и объединяет в себе биологические, математические, химические, физические, философские, медицинские знания, необходимые для охраны окружающей среды, рационального использования и сбережения природных ресурсов.

История развития экологии как науки в нашей стране имеет свои особенности, существенно отличающиеся от мировых тенденций, что наложило отпечаток на ее преподавание.

Многочисленные открытия, сделанные нашими учеными в прошлом столетии в области естественных и технических наук, свидетельствуют о том, что высшее техническое образование в СССР отличалось очень высоким качеством и соответствовало мировому уровню. При этом экология не изучалась в образовательных учреждениях, так как экологические принципы противоречили существующей на тот момент идеологии, призывающей

потребительски относиться к природе. Наиболее ярко это выражено в словах И. В. Мичурина: «Мы не можем ждать милостей от природы, взять их у нее — наша задача».

Образовательный процесс всегда неразрывно связан с наукой. Советская наука также строилась на принципах антропоцентризма и была нацелена на создание передовых технологий добычи и переработки ресурсов. Считалось, что человек стоит выше природных и эволюционных процессов и со временем сможет их полностью контролировать благодаря силе интеллекта. В связи с этим экология долгое время как наука не рассматривалась.

Бесспорно, отдельные русские ученые, например, В. Н. Сукачев, В. В. Алехин и Д. Н. Кашкаров, занимались экологическими исследованиями, но они были посвящены вопросам общей и биоэкологии. Инженерная экология в тот период времени практически не развивалась.

Даже сегодня от антропоцентристских воззрений полностью не отказались, хотя время показало, что они тупиковые.

В конце XX в., после изменения политической ситуации в стране и значительного ухудшения состояния окружающей среды во многих промышленных городах, природоохранным проблемам стали уделять внимание. Экологические дисциплины были введены в программы подготовки специалистов в высших учебных заведениях, в том числе технических. Хотя, как показывает практика, экологическая подготовка выпускающихся сегодня инженеров нуждается в совершенствовании.

Во-первых, исторически сложилось так, что в рамках экологических дисциплин до студентов технических вузов доносят биологические знания, не являющиеся для них основными. Техногенная опасность производств, устройство и принцип работы оборудования по обезвреживанию отходов, очистке сточных вод и газовых выбросов детально не рассматриваются. Наряду с этим, очистное оборудование, используемое сейчас на предприятиях, большей частью импортное. Оно поставляется, как правило, в комплекте с инструкцией, содержащей минимум информации, касающейся только техники безопасности и правил эксплуатации приборов.

Данные об их принципе действия являются коммерческой тайной стран-производителей, и наши инженеры зачастую работают на установках, поверхностно представляя, как они устроены.

Во-вторых, многие методики преподавания экологических дисциплин заимствованы у западных стран, следовательно, в них не уделяется внимание русскому менталитету, что препятствует усвоению материала на психологическом уровне. Также недостаточно полно рассматриваются особенности географического положения и климата нашей страны, которые нередко играют решающую роль в ходе принятия инженерных решений в области экологии.

В-третьих, в учебной литературе экологические проблемы часто рассматриваются в общих чертах, не хватает деталей и ярких практических примеров, которые бы помогли студенту разобраться в материале.

Авторы уже не один год занимаются экологическими исследованиями и педагогической деятельностью, что позволило им обнаружить названные выше проблемы преподавания экологических дисциплин в технических вузах. Так появилась идея — разработать методологию формирования экологического мышления у студентов инженерно-технических специальностей, позволяющую устранить выявленные недостатки, и исследовать эффективность ее применения.

Успешная реализация этой идеи помогла бы повысить качество и конкурентоспособность высшего технического образования в России. Одним из этапов реализации являлось написание данного учебного пособия. Цель пособия — донести до студентов химических специальностей подробную и доступную информацию, необходимую для решения производственных задач по повышению эффективности переработки сырья и снижению техногенной нагрузки предприятий на окружающую среду.

# 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

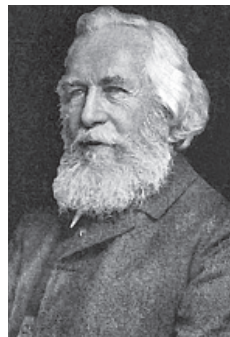
## 1.1. Основные понятия

Термин «экология» ввел Э.Геккель (1834–1919) в 1866 г. в книге «Общая морфология организмов» (ориг. название «*Generelle Morphologie der Organismen*»). Он писал: «Под экологией мы понимаем... изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой... с теми животными и растениями, с которыми он прямо или косвенно вступает в контакт».

---

Эрнст Генрих Филипп Август Гёккель (1834–1919) — немецкий биолог и философ, профессор Йенского университета. Основоположник экологии, пропагандист учения Ч. Дарвина, автор теории происхождения многоклеточных и основного биогенетического закона, согласно которому каждое живое существо в своем индивидуальном (эмбриональном) развитии повторяет историческое развитие своего вида. Он построил первое генеалогическое древо животного царства и предположил существование в прошлом промежуточной формы жизни между обезьяной и человеком, что позже было подтверждено находкой на острове Ява останков питекантропа (обезьяночеловека).

---



Со временем ученые стали рассматривать экологию как биологическую дисциплину, изучающую условия существования не только животных, но и всех живых организмов. В современном понимании термин «экология» имеет еще более широкое значение, включающее в себя, кроме всего перечисленного, вопросы охраны окружающей среды.

□ Под окружающей средой понимают совокупность природных и созданных человеком объектов: искусственные сады

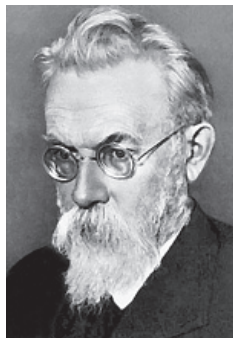
и парки, осушенные болота, города с особым микроклиматом и промышленными предприятиями и др.

В связи с такой многозначностью термина определение «экология» дано в авторской трактовке, наиболее точно отражающей проблематику развития промышленности.

□ **Экология** (от греч. *oikos* — жилище, убежище, *logos* — наука) — это наука, изучающая взаимодействия живых организмов, включая человека, между собой и окружающей средой с учетом изменений, вносимых в среду человеческой деятельностью.

Экология — междисциплинарная наука, сформировавшаяся на стыке общественных, естественных и технических дисциплин, в связи с этим фундаментальные законы этих дисциплин применяются и в экологии. Большой вклад в выявление экологических закономерностей внесли В. И. Вернадский (1863–1945), Ю. Либих (1803–1873), В. Е. Шелфорд (1877–1968), Ю. Одум (1913–2002), Ж. Кювье (1769–1832).

Владимир Иванович Вернадский (1863–1945) — русский естествоиспытатель и общественный деятель, его идеи сыграли большую роль в становлении современной научной картины мира. Основоположник комплекса наук о Земле: геохимии, биогеохимии, гидрогеологии, генетической минералогии и др. Автор учений о биосфере и ноосфере. Он считал, что ноосфера (сфера разума) — высшая стадия эволюции, на которой разумная человеческая деятельность станет определяющим фактором развития всего живого. Основатель Биогеохимической лаборатории (сейчас Институт геохимии и аналитической химии РАН им. Вернадского) и многих научных школ.



Согласно литературным данным, на сегодняшний день известно более 60 законов экологии, но исторически сложилось так, что большинство из них имеют биоэкологический характер. С инженерно-технической точки зрения наиболее значимы четыре закона Б. Коммонера (1917–2012), сформулированные им в научно-популярном стиле в книге «Замыкающийся круг» (ориг. название «The Closing Circle»), опубликованной в 1971 г.



Барри Коммонер (1917–2012) — американский биолог и эколог, родился в семье еврейских иммигрантов из Российской империи. Б. Коммонер занимался проблемами разрушения озонового слоя, был противником атмосферных испытаний ядерного оружия. Автор 6 широко известных книг по экологии: «Технология прибыли», «Замыкающийся круг» и др. Разработчик ряда проектов по использованию альтернативных источников энергии (солнечного света, ветра), многие из которых в настоящее время реализованы. В 1980 г. кандидат в президенты США от гражданской партии, набравший 0,27 % голосов.

## 1.2. Законы экологии Б. Коммонера

Свободная формулировка, а не строгая, как принято в научных текстах, является отличительной особенностью законов Б. Коммонера.

### 1. Все связано со всем.

Это закон о единстве и многообразии мира, в котором все процессы и явления взаимосвязаны. Закон является основополагающим в экологии и призван предотвратить катастрофические последствия необдуманной человеческой деятельности.

Например, печально известная кампания по уничтожению воробьев в Китае в период с 1958 по 1962 г. Считалось, что воробьи — основные сельскохозяйственные вредители, за год съедающие такой объем зерна, которым можно прокормить 35 млн человек. В результате было истреблено почти 2 млрд воробьев. После этого резко возросла численность насекомых, в том числе саранчи, которые погубили посевы, и в стране начался голод. Опыт показал, что пользы от воробьев намного больше, чем вреда. Для исправления ситуации в Китае стали завозить воробьев из России и Канады, а также проводить мероприятия по защите птиц.

### 2. Все должно куда-то деваться или ничто не исчезает в никуда.

По сути, это закон сохранения массы, в химии наиболее известна следующая его формулировка: в изолированной системе

масса исходных веществ равна массе продуктов реакции. Только в данном случае изолированная система — это наша планета Земля, и речь идет о проблеме утилизации отходов производства и потребления, которые уже накоплены в огромных количествах и представляют опасность для всего живого.

Ярким примером являются проблемы обезвреживания и утилизации радиоактивных отходов. До сих пор их не решила ни одна из стран, использующих ядерную энергию. Сейчас радиоактивные отходы захоранивают в подземных выработках или естественных полостях в земной коре, перекладывая тем самым проблемы на будущие поколения. Другим примером служат мусоросжигательные заводы. Сжигание мусора до пепла и шлаков позволяет почти в 10 раз снизить его объем, а также использовать образующуюся энергию для электро- и теплоснабжения, но кроме твердых продуктов сгорания образуются еще токсичные газы, обезвреживание которых — сложный и дорогостоящий процесс.

### **3. Природа знает лучше.**

Третий закон Б. Коммонера, как и первый, является важнейшим в экологии. В нем говорится о необходимости учиться у природы и крайне осторожно с ней обращаться. Все природные творения гораздо сложнее передовых научно-технических достижений, а человек — только часть природы, а не хозяин.

Положительным результатом применения человеком этого закона стала биомиметика (от лат. *bios* — жизнь, *mimesis* — подражание) — это подход к решению различных технологических задач путем заимствования идей у природы. Так, плоды репейника являются прототипом текстильной застежки-липучки, а изучение нервной системы человека позволяет развивать электронику. И наоборот, участвовавшие торфяные пожары, как следствие осушения болот, выступают примером пренебрежения данным законом.

### **4. Ничто не дается даром.**

Этот закон близок по смыслу первому началу термодинамики, в котором говорится о невозможности совершить работу, не затратив энергию, или другая широко используемая в физической химии его формулировка звучит так: количество теплоты  $Q$ ,

сообщенное системе, идет на увеличение ее внутренней энергии  $\Delta U$  и на совершение системой работы  $A$ .

$$Q = \Delta U + A.$$

Фактически четвертый закон Б. Коммонера, как и первое начало термодинамики, является частным случаем закона сохранения энергии, согласно которому энергия изолированной системы — величина постоянная, возможны только переходы одного вида энергии в другой. Как и во втором рассмотренном выше законе, под изолированной системой в экологии следует понимать нашу планету, представляющую собой единое целое. Любой выигрыш за счет ее природных богатств всегда сопряжен с потерями если не для нас, то для будущих поколений.

Например, в процессе роста культурные растения извлекают из почвы органические вещества, макро- и микроэлементы (азот, фосфор, серу, калий и др.). Со временем, если не вносить удобрения, почва утратит плодородие, следовательно, потеряет и сельскохозяйственное значение. Другим примером может служить вырубка деревьев. Хотя леса и являются возобновляемым ресурсом, но для их сохранения необходима плановая высадка новых деревьев на территориях вырубки и создание условий для роста. В настоящее время по вине бесконтрольной человеческой деятельности, приносящей наибольший ущерб, а также из-за пожаров и ряда естественных причин (ураган, затопление, насекомые-вредители) площадь лесов стремительно уменьшается. Обезлесение — глобальная экологическая проблема во всем мире.

### 1.3. Методы исследований в экологии

Так как взаимодействия живых организмов с окружающей средой очень сложны и многообразны, для их изучения используется комплексный подход, сочетающий в себе различные методы исследований: химические, физические, биологические и др.

В экологии методы исследований делятся на три большие группы:

1. Полевые методы представляют собой наблюдения за состоянием исследуемых объектов (или организмов)



в естественных условиях. Они, в свою очередь, подразделяются на описательные, маршрутные, стационарные и экспериментальные.

*Описательные методы* — одни из первых научных методов, применяемых человеком для изучения окружающего мира и сегодня не утративших свою актуальность. К описательным методам прибегают при первоначальном знакомстве с исследуемыми объектами для фиксирования их внешних признаков и основных особенностей, а также для оценки изменения их состояния во времени. При наблюдении за объектами важно выделять их значимые характеристики и отбрасывать несущественные, что поможет со временем обобщить полученные данные и найти определенные закономерности.

В 1985 г. группа британских ученых обнаружила и описала в журнале Nature озоновую дыру над Антарктидой. После этого проблемой разрушения озонового слоя стали заниматься ученые во всем мире. Путем обобщения и анализа собранных материалов были созданы карты, на которых показано содержание стратосферного озона в зависимости от времени года и географического положения территории.

С помощью *маршрутных методов* определяют степень заселения живыми организмами и влияние на них экологических особенностей исследуемой территории: температурного режима, загрязнений атмосферы, электромагнитного излучения и др. Исследования проводятся путем прямого наблюдения с последующим описанием, составлением схем и карт.

Метод маршрутного учета птиц незаменим в орнитологии, для его проведения разработаны международные стандарты. Для экологов важна информация о жизнедеятельности птиц не только в естественной, но и в измененной человеком среде обитания.

В случае необходимости длительного наблюдения (сезонного, круглогодичного или многолетнего) применяют *стационарные методы*, которые, в зависимости от объектов исследований, могут быть реализованы в полевых или лабораторных условиях.

Мониторинг состояния окружающей среды является примером стационарного метода исследований в экологии. В частности, для оценки экологического благополучия мест проживания людей проводится лабораторный анализ проб воздуха, отобранных в городской черте.

В отличие от наблюдений, опыты всегда дают более точные данные, так как позволяют искусственно регулировать условия, влияющие на исследуемые объекты. Практически невозможно взять под контроль все природные условия, но отдельные — вполне достижимо. *Экспериментальные методы* основаны на сопоставлении состояния объектов до (фоновый эксперимент) и после прямого вмешательства в природную среду.

Почву удобряют для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Увеличение доз агрохимикатов возможно до определенного уровня, при переходе через который получаемая продукция становится небезопасной. Этот уровень устанавливают путем полевого опыта. На нескольких участках заданной площади в почву вносят различные удобрения, а затем оценивают изменение ее химического состава и количество токсических веществ, накопленных выросшими на участках растениями.

2. Лабораторные методы тоже иногда называют экспериментальными, так как с их помощью объекты исследуют опытным путем, но не в природных условиях, как в рассмотренных выше методах, а лабораторных.

Для оценки токсичности веществ, попадающих в окружающую среду в ходе работы промышленных предприятий, в лабораториях используют подопытных животных: мышей или крыс.

3. В последние годы большое распространение получили методы моделирования, позволяющие разрабатывать и изучать модели природных объектов и явлений, а затем, применяя полученные данные, прогнозировать развитие реальных процессов в окружающей среде. Методов моделирования достаточно много, поэтому целесообразно рассмотреть только те из них, которые широко используются в экологии.

Чаще всего прибегают к *математическому моделированию* — приближенному описанию какого-либо явления, выраженного с помощью математической символики.

Любое выражение для расчета экологически значимых величин можно рассматривать как простейшую математическую модель в экологии.

Так как в экологии, как правило, требуется анализировать множество переменных, необходима *статистическая обработка* данных для выявления характера изменений, происходящих с изучаемыми объектами, и оценки вероятности наступления тех или иных событий в окружающей среде.

В промышленном секторе на основании статистических данных, с учетом специфики работы предприятия и его местоположения, оценивают вероятность наступления неблагоприятных последствий для окружающей среды и здоровья населения. Данная величина называется экологическим риском.

В сельскохозяйственной отрасли многолетние наблюдения за ростом культурных растений позволяют путем статистического моделирования прогнозировать их урожайность в зависимости от условий природной среды (температуры, осадков и т. д.) и деятельности человека (внесения удобрений, мелиорации, поступления в почву загрязнений и т. д.).

Современным инструментом математического моделирования сложных систем являются *компьютерные модели*.

Например, математическое моделирование климата и его изменений на суперкомпьютерах (вычислительных системах, выполняющих  $10^{15}$  и более арифметических операций в секунду).

В случаях, когда объект исследований труднодоступен или его непосредственное изучение экономически невыгодно, изготавливают *физическую модель* — подобие объекта, но в увеличенном или уменьшенном виде.

На физических моделях исследуют сейсмоустойчивость зданий и последствия их разрушения от стихийных бедствий.

## 1.4. Структура экологии

Современная экология — сложная междисциплинарная наука, но единой общепринятой классификации экологических отраслей знаний не существует. На рис. 1.1 представлена одна из наиболее удачных структуризаций экологии.

*Аутэкология* (от греч. *autos* — сам, *logos* — наука) изучает взаимодействие отдельного организма (или вида) с окружающей средой, включая жизненные циклы и поведение как способ приспособления.

Важнейшие разделы экологии — это *экология популяций* и *биоценозов*.

□ **Популяция** (от лат. *populatio* — население) — это совокупность особей одного вида с общим генофондом, обитающих на определенной территории (участок суши или акватории).

□ **Под биоценозом** (от греч. *bios* — жизнь, *koinos* — общий) понимают исторически сложившуюся совокупность разных видов животных, растений, грибов и микроорганизмов, населяющих определенную территорию, приспособленных к совместному обитанию и характерным для данной территории условиям (химическому составу вод и почв, высоте над уровнем моря и т. д.).

*Эволюционная экология* рассматривает эволюцию отдельных видов и биосферы в целом под влиянием экологических факторов.

*Социальная экология* изучает взаимоотношения в системе «общество — природная среда» с учетом особенностей разных социальных групп и разрабатывает научные основы оптимизации среды жизнедеятельности человека.

*Медицинская экология* исследует взаимосвязи между состоянием окружающей среды и здоровьем населения.

*Сельскохозяйственная экология* изучает способы получения экологически чистой сельскохозяйственной продукции без истощения почвенных ресурсов.

Под *экологическим менеджментом* понимают часть системы управления предприятием, занимающуюся вопросами охраны

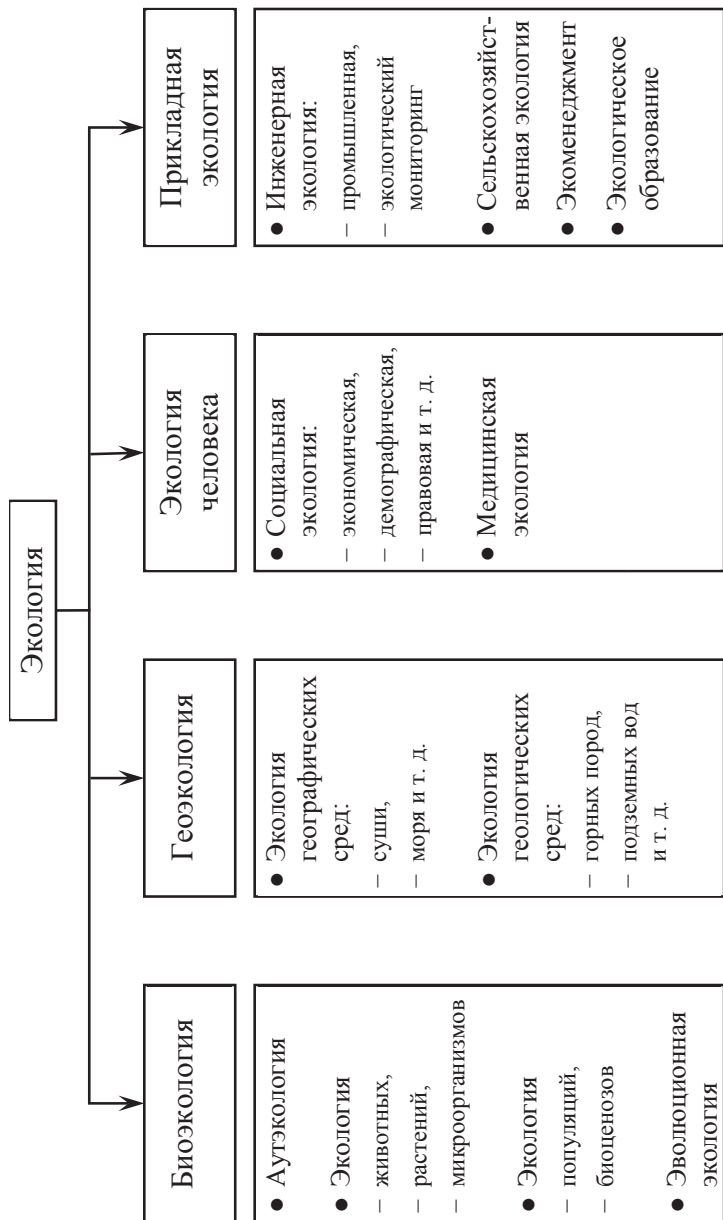


Рис. 1.1. Структура экологии

окружающей среды и достижением оптимального соотношения между экологическими и экономическими показателями.

*Экологическое образование* — это процесс воспитания и просвещения населения для формирования поведенческих норм бережного отношения к природе, а также специальных знаний по охране окружающей среды, используемых в сферах профессиональной деятельности. Для обеспечения экологической безопасности усилий одних только специалистов-экологов недостаточно, необходимо активное участие каждого человека вне зависимости от его социального и культурного статуса.

К дисциплинам технического профиля, из представленных на рис. 1.1, относится *инженерная экология* — это раздел *прикладной экологии*, который изучает взаимодействие природы и техники, а также негативное влияние на природу различных промышленных отраслей, являющихся источниками загрязняющих веществ и физических явлений: шума, вибрации, электромагнитного и радиоактивного излучения и т. д.

Именно положения инженерной экологии выступают основой для формирования экологического мышления у студентов, обучающихся по естественно-научным и инженерно-техническим направлениям. В связи с этим разделы инженерной экологии — промышленная экология и экологический мониторинг — будут подробно рассмотрены в следующих главах.

## Контрольные вопросы

1. Дать определение понятиям «экология» и «окружающая среда».
2. Привести примеры действия законов Б. Коммонера.
3. Дать определение понятиям «популяция» и «биоценоз». Привести примеры.
4. Назвать выдающихся ученых-экологов и область их научных интересов.

5. Какие экологические дисциплины являются наиболее важными для студентов технических специальностей? Ответ обосновать.
6. Охарактеризовать структуру экологии. Какие разделы входят в состав прикладной экологии?
7. В каких случаях прибегают к физическому моделированию процессов?
8. Охарактеризовать полевые методы исследований в экологии. На какие группы они делятся?
9. Что понимают под экологическим образованием?

## 2. НОРМИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Степень влияния промышленности на окружающую среду *нормируют*, т. е. налагают граничные условия (нормативы) антропогенного воздействия на

- атмосферный воздух,
- грунтовые и поверхностные воды,
- почву.

Экологические нормативы делят на три группы:

- 1) санитарно-гигиенические;
- 2) производственно-хозяйственные;
- 3) комплексные.

К последней группе нормативов относится предельно допустимая норма нагрузки на окружающую среду.

□ **Предельно допустимая норма нагрузки (ПДН)** — это максимально возможное антропогенное воздействие на определенную территорию, не приводящее к нарушению устойчивости ее экосистем: видов, популяций и биоценозов.

ПДН — это комплексный научно обоснованный показатель, который определяется расчетным путем.

Различают отраслевые и региональные ПДН. Отраслевые ПДН касаются отдельных видов природных ресурсов, а региональные ПДН — определенной территории в целом и всех хозяйствующих на ней субъектов.

Максимально возможный объем забора воды из водного объекта на нужды города установлен отраслевой ПДН. Использование водных и лесных ресурсов, а также развитие хозяйственной деятельности на прибрежных территориях озера Байкал ограничивают региональные ПДН.



Для соблюдения ПДН устанавливают санитарно-гигиенические и производственно-хозяйственные нормативы, которые рассмотрены ниже.

## 2.1. Санитарно-гигиенические нормативы

Важнейшими санитарно-гигиеническими нормативами являются предельно допустимая концентрация и предельно допустимый уровень.

□ **Предельно допустимая концентрация (ПДК)** — это концентрация химического вещества в окружающей среде, которая при повседневном влиянии на организм человека в течение длительного времени не вызывает патологических изменений за время жизни настоящего и последующих поколений.

Состав природной среды (воздуха, воды или почвы) соответствует нормативам, если

$$\left. \begin{array}{c} \text{✍} \\ C_i \leq \text{ПДК}_i \end{array} \right\}, \quad (2.1)$$

где  $C_i$  и  $\text{ПДК}_i$  — фактическая и предельно допустимая концентрация вещества в природной среде (мг/м<sup>3</sup>).

□ **Предельно допустимый уровень (ПДУ)** — это максимальный уровень физического воздействия (шума, вибрации, электромагнитного излучения и др.), который неограниченно долго (годы) не оказывает на человека прямого или косвенного вредного влияния.

Санитарно-гигиенические нормы разрабатывает государственная санитарно-эпидемиологическая служба РФ, затем они утверждаются в законодательном порядке и действуют на территории всей страны. Их значения приводятся в таких документах, как государственные стандарты (ГОСТ), санитарные нормы (СН), санитарные правила и нормы (СанПиН) и гигиенические нормативы (ГН). При разработке ПДК основываются на лимитирующем показателе вредности загрязняющего вещества.

□ Под лимитирующим показателем вредности (ЛПВ) понимают биологическое действие вещества, являющееся наиболее отрицательным для организма.

*! Значения ПДК одного и того же вещества различны для разных объектов внешней среды. ПДУ физических воздействий зависит от целевого назначения помещений.*

Например, ПДК хрома (VI) составляет: для почвы — 0,005 мг/кг, для водоемов рыбохозяйственного назначения — 0,001 мг/л. Характеристикой постоянного шума является уровень звукового давления, его значение не должно превышать в среднем 93 дБ в лабораториях и 79 дБ в квартирах.

По мере накопления экологических знаний санитарно-гигиенические нормативы регулярно пересматриваются в сторону ужесточения, также расширяется список потенциально опасных веществ, подлежащих нормированию.

□ Класс опасности — это условная величина, разработанная для классификации опасных веществ с учетом их токсичности и уровня воздействия на живые организмы.

Выделяют 4 класса опасности веществ:

I — чрезвычайно опасные;

II — высокоопасные;

III — умеренно опасные;

IV — малоопасные.

### **2.1.1. Нормативы загрязнения атмосферного воздуха**

Влияние на здоровье человека качества атмосферного воздуха зависит не только от его состава, но и от времени, в течение которого человек этим воздухом дышит. Данная особенность учтена при контроле поступающих в атмосферу загрязнений путем установления трех видов санитарно-гигиенических норм.

Для оценки атмосферного воздуха **населенных мест** используют:

а) *предельно допустимую среднесуточную концентрацию* ( $\text{ПДК}_{\text{СС}}$ ) — это концентрация вещества в воздухе, не оказывающая на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом (годы) вдыхании. При разработке  $\text{ПДК}_{\text{СС}}$  основываются на *резорбтивном ЛПВ*. Резорбтивное действие токсичных веществ проявляется после поступления в кровеносную систему в виде развития в организме человека общетоксических, эмбриотоксических, мутагенных и других эффектов;

б) *предельно допустимую максимально-разовую концентрацию* ( $\text{ПДК}_{\text{МР}}$ ) — это концентрация вещества в воздухе, которая при вдыхании в течение 20–30 мин не должна вызывать рефлекторных реакций в организме человека: слезотечения, рвоты, учащения дыхания и др. Устанавливают  $\text{ПДК}_{\text{МР}}$  с учетом *рефлекторного ЛПВ*.

Для охраны здоровья людей, работающих **на предприятиях с вредными и опасными условиями труда**, используют:

в) *предельно допустимую концентрацию рабочей зоны* ( $\text{ПДК}_{\text{РЗ}}$ ) — это концентрация, которая не должна вызывать у работающих при ежедневном вдыхании в течение 8 часов и не более 40 часов в неделю за все время рабочего стажа каких-либо заболеваний непосредственно во время работы или в отдаленные сроки.

□ **Рабочая зона** — это пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которой расположены рабочие места.

! Все виды ПДК для атмосферного воздуха имеют размерность ( $\text{мг/м}^3$ ) при нормальных условиях: давлении 1 атм и температуре 0 °С.

Для нормативов загрязнения атмосферного воздуха определенным веществом выполняются следующие неравенства:

$$\text{✎} \quad \boxed{\text{ПДК}_{\text{СС}} < \text{ПДК}_{\text{МР}} < \text{ПДК}_{\text{РЗ}}} \quad (2.2)$$

Когда в воздухе присутствует **один загрязнитель**, его состав соответствует нормативам при выполнении неравенства (2.1). В зависимости от назначения территории (жилая или производственная) используют соответствующие величины ПДК.

При наличии в воздухе **нескольких примесей** возможен эффект суммации.

□ Эффектом суммации или аддитивного действия называют свойство двух и более вредных веществ действовать на организм человека однонаправленно, т. е. повреждать одни и те же органы и системы, оказывая одинаковый или сходный негативный эффект.

|| Формальдегид и аммиак раздражают слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей, фенол и формальдегид негативно влияют на репродуктивную систему.

Если эффект суммации имеет место, то для оценки качества атмосферного воздуха применяют формулу А. Аверьянова:

$$\left[ \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1 \right], \quad (2.3)$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  и  $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$  — фактические и предельно допустимые концентрации веществ, обладающих эффектом суммации,  $\text{мг/м}^3$ .

Следует отметить, что на состояние растений и животных могут отрицательно влиять концентрации веществ, существенно меньшие, чем ПДК.

|| Загрязнение воздуха  $\text{SO}_2$  до концентрации, в 10 раз меньшей ПДК, вызывает поражение листьев растений, замедление их роста и снижение урожайности.

### 2.1.2. Нормативы загрязнения грунтовых и поверхностных вод

По характеру водопользования водоемы подразделяют на три категории:

- а) хозяйственно-питьевые;
- б) культурно-бытовые;
- в) рыбохозяйственные.

По такому же принципу нормируют качество воды в водоемах.

У первых двух категорий состав воды должен соответствовать нормам:

- на проточных водоемах — в створе, расположенном на водотоке в 1 км от ближайшего по течению пункта водопользования (рис. 2.1, а),
- на непроточных водоемах (озерах, водохранилищах) — в радиусе 1 км от пункта водопользования (рис. 2.1, б).

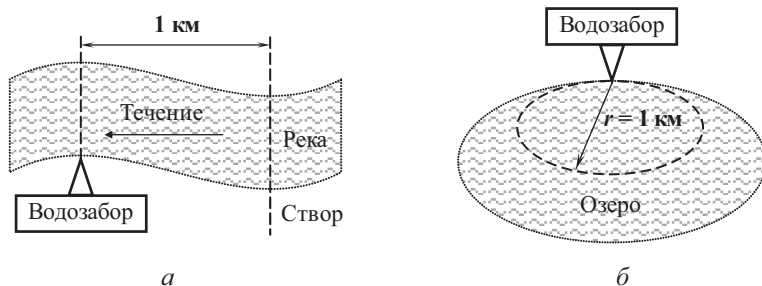


Рис. 2.1. Нормирование качества воды проточных (а) и непроточных (б) водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового значения

□ **Створ водотока (реки)** — это условное поперечное сечение водотока, используемое для оценок и прогноза качества воды.

В рыбохозяйственных водоемах состав воды должен удовлетворять следующим требованиям:

- при наличии течения — в местах выпуска сточных вод;
- при его отсутствии — не далее чем через 500 м от места выпуска.

Оценивают воду по следующим показателям: содержанию взвешенных веществ, запаху, привкусу, окраске, температуре, значению pH, наличию кислорода и органических веществ, концентрации вредных примесей.

При разработке ПДК для хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых водоемов учитывают три вида ЛПВ: санитарно-токсикологический, органолептический и общесанитарный. Для рыбохозяйственных водоемов к указанным трем добавляются еще токсикологический и рыбохозяйственный ЛПВ. Из-за высокой чувствительности к загрязнению воды рыб и ракообразных для рыбохозяйственных водоемов установлены более жесткие нормативы.

|| Так, ПДК меди (II) для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения составляет 1 мг/л, а для рыбохозяйственных водоемов — 0,001 мг/л, т. е. в 1 000 раз меньше.

*! Если в воде содержится несколько веществ с одинаковым ЛПВ, то для оценки ее качества применяют формулу А. Аверьянова (2.3).*

### **2.1.3. Нормативы загрязнения почвы**

Санитарно-гигиенические нормативы распространяются на почвы, с которыми прямо или косвенно контактирует человек. Это почвы населенных пунктов, курортов, зон санитарной охраны источников водоснабжения и, особенно, сельскохозяйственных угодий, так как при их загрязнении возможна миграция вредных веществ по цепочкам:

- а) почва → растение → человек;
- б) почва → растение → животное (домашний скот) → человек.

Нормировать содержания вредных веществ в почве чрезвычайно сложно из-за непостоянства и невозможности полного учета всех ее свойств: гранулометрического состава, содержания гумуса, реакции среды и т. д.

□ ПДК в пахотном слое почвы (ПДК<sub>п</sub>, мг/кг) — это концентрация вещества, которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и здоровье человека, а также на способность почвы к самоочищению.

Самоочищение почвы происходит благодаря населяющим ее бактериям, грибам и простейшим организмам, но этот процесс очень медленный.

При разработке ПДК<sub>п</sub> учитывают шесть лимитирующих показателей: органолептический, общесанитарный, токсикологический, фитоаккумуляционный, миграционный водный и миграционный воздушный. Значения ПДК<sub>п</sub>, как правило, значительно выше, чем у аналогичных величин, установленных для воздуха и воды.

Чтобы определить содержание вредных веществ в почве, на участке площадью 25 м<sup>2</sup> в 3–5 точках по диагонали с глубины 0,25 м отбирают и анализируют пробы массой 0,2–1,0 кг. Для оценки влияния почвенных загрязнений на грунтовые воды пробы отбирают аналогично, но с глубины 0,75–2,00 м.

#### **2.1.4. Допустимые физические воздействия на рабочих местах: нормирование и средства защиты**

Химическая промышленность имеет выраженную специфику условий труда, зачастую представляющую опасность для здоровья человека, поэтому должна проводиться аттестация рабочих мест, а персоналу, при необходимости, — выдаваться средства индивидуальной защиты.

□ Средства индивидуальной защиты (СИЗ) — специальные костюмы, а также иные приспособления, предназначенные для защиты организма человека от нежелательного влияния вредных веществ и физических воздействий.

Нормированию подлежат следующие физические воздействия:

- шум;
- вибрация;
- ионизирующее и тепловое излучения;
- электрический ток и электромагнитное поле.

### Шум

□ Ш у м — это совокупность аperiodических звуков различной интенсивности и частоты.

Человеческому уху доступна область механических колебаний частотой 16–20 000 Гц, для этого диапазона устанавливают ПДУ шума на рабочих местах с учетом видов деятельности: умственная, физическая и т. д.

Интенсивный шум способствует снижению внимания и скорости реакции, что приводит к увеличению числа ошибок на рабочем месте и несчастным случаям. Шум оказывает влияние на весь организм человека: угнетает центральную нервную систему, вызывает изменение скорости дыхания и пульса, приводит к нарушению обмена веществ и сердечно-сосудистым заболеваниям. Длительное воздействие шума уровнем свыше 75 дБ является причиной развития профессиональной тугоухости. При действии шума уровнем более 140 дБ возможен разрыв барабанных перепонок, контузия, при уровне более 160 дБ — смерть.

Средствами защиты от шума являются *звукопоглощающие* и *звукоизолирующие устройства*. Различают пористые поглотители, которые изготавливают из органических и минеральных волокон (древесной массы, кокса, пенопласта), и резонансные поглотители, представляющие собой перфорированный экран с отверстиями, затянутыми тканью или мелкой сеткой. Для индивидуальной защиты органов слуха применяют беруши и наушники.

|| Примером звукоизолирующего устройства является кожух аппарата или кабина оператора.



## Вибрация

□ Малые механические колебания, возникающие в упругих телах или в телах, на которые действует переменное физическое поле, называют в и б р а ц и е й.

Вибрационная патология стоит на втором месте (после пылевых загрязнений воздуха) среди профзаболеваний.

Воздействие вибрации на человека классифицируют:

- а) по способу передачи колебаний (общая и локальная вибрация);
- б) по направлению действия вибрации (вертикальная и горизонтальная);
- в) по продолжительности вибрации (постоянная и непостоянная).

ПДУ устанавливают в зависимости от вида вибрации и условий труда (нормальные, вредные и т. д.). Даже во вредных условиях труда значения виброускорения и виброскорости, действующие на работников, не должны превышать 159 и 115 дБ соответственно.

От *общей вибрации* страдает нервная система человека и анализаторы: вестибулярный, зрительный, тактильный. Отмечаются головокружения, расстройство координации движений, нарушение обменных процессов, изменение биохимических показателей крови. Особенно опасна *толчкообразная вибрация*, вызывающая микротравмы различных тканей с последующими реактивными изменениями. *Локальная вибрация* вызывает спазмы сосудов кисти и предплечий, нарушая снабжение конечностей кровью, действует на нервные, мышечные и костные ткани, способствует отложению солей в суставах пальцев, деформируя и уменьшая подвижность суставов.

Для защиты от вибрации применяют виброизоляцию, виброгашение и вибродемпфирование. В качестве *виброизоляторов* используют резиновые и пластмассовые прокладки, цилиндрические пружины. *Виброгашение* реализуется при увеличении эффективной жесткости и массы корпуса оборудования за счет его объединения с фундаментом с помощью болтов или цементной подливки. *Вибродемпфирование* основано на увеличении потерь

в колебательных системах путем применения материалов с большим внутренним трением: пенопласта, войлока и др. Средствами индивидуальной защиты от вибрации являются обувь и рукавицы из упругодемпфирующего материала.

### **Тепловое (инфракрасное) излучение**

Инфракрасное излучение от нагретых поверхностей оборудования обуславливает повышенную температуру в производственном помещении. По характеру действия на организм инфракрасные лучи подразделяют на коротко- и длинноволновые. *Коротковолновые лучи* ( $\lambda = 0,76\text{--}1,50$  мкм) глубоко проникают в ткани и разогревают их, вызывая быструю утомляемость, усиленное потоотделение и, как следствие, обезвоживание организма; а при длительном облучении — тепловой удар, сопровождающийся учащением дыхания, рвотой, судорогами, головокружением и потерей сознания. *Длинноволновое тепловое излучение* ( $\lambda > 1,50$  мкм) поглощается эпидермисом кожи, вызывает ожог кожи и глаз, катаракту глаза. Чем больше относительная влажность и меньше скорость движения воздуха, тем быстрее наступает перегрев тела, так как меньше испаряется пота в единицу времени.

Допустимые параметры микроклимата рабочей зоны необходимо обеспечивать с помощью систем вентиляции и отопления. Все оборудование, работающее при высоких температурах, должно иметь теплоизоляцию, его обслуживание следует производить в защитной спецодежде. Для восстановления в организме персонала водно-солевого баланса желательно устанавливать в зонах кратковременного отдыха предприятия автоматы с подсолненной (0,5 % NaCl) газированной питьевой водой.

### **Ионизирующее излучение**

□ **Ионизирующее излучение** — это поток энергии, элементарных частиц или осколков деления атомов, способный ионизировать вещество, подразделяющийся на альфа-, бета-, гамма- и нейтронное излучение.

$\alpha$ -излучение (ядра гелия  ${}^4_2\text{He}$  с зарядом +2) имеет высокую ионизирующую и малую проникающую способность. При внешнем воздействии  $\alpha$ -частицы не опасны для человека, так как

практически полностью задерживаются внешним омертвевшим слоем кожи или листом бумаги. При попадании внутрь — вызывают негативные изменения внутренних органов, поэтому работать с источниками  $\alpha$ -излучения следует только в респираторе.

$\beta$ -излучение представляет собой поток электронов или позитронов — частиц с массой, как у электрона, но с зарядом  $+1$ .  $\beta$ -излучение способно проникать в биологические ткани на несколько сантиметров, вызывая ожоги, защититься от него можно листом стекла или металла толщиной 3–5 мм.

$\gamma$ -излучение — это поток фотонов, способных насквозь проходить через тело. Для защиты необходимы свинцовые экраны или толстостенные бетонные конструкции.

Нейтронное излучение очень опасно для человека из-за большой проникающей способности. Для его поглощения используют водородосодержащие материалы: полиэтилен, парафин, растворы гидроксидов тяжелых металлов.

При воздействии на организм человека радиация вызывает ожоги, лучевую болезнь, аномалии в развитии плода и ряд наследственных болезней.

Для лиц, работающих с техногенными источниками радиации, доза облучения не должна превышать 20 мЗв в год за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год.

### **Электрический ток и электромагнитное поле**

□ **Электрический ток** — это направленное движение заряженных частиц (ионов, электронов и др.) под воздействием электрического поля.

Практически все современное химическое оборудование является электрифицированным, следовательно, представляет потенциальную опасность.

Исход поражения человека электротоком зависит от многих факторов:

- а) силы тока и времени его прохождения через организм;
- б) характеристики тока (переменный или постоянный);
- в) при переменном токе — от частоты колебаний;
- г) пути тока в теле человека.

Проходя через организм человека, ток оказывает термическое, электролитическое, механическое и биологическое действия. *Термическое действие* проявляется ожогами отдельных участков тела. *Электролитическое* — выражается в разложении органических жидкостей, в том числе крови, и нарушении их физико-химического состава. *Механическое* — приводит к разрыву тканей в результате электродинамического эффекта и взрывоподобного образования пара из тканевой жидкости и крови. *Биологическое* — проявляется раздражением тканей организма, нарушением внутренних биологических процессов.

Электротравмы делят на общие и местные. К *общим* — относят электрический удар, сопровождающийся судорогами, остановкой дыхания, фибрилляцией сердца. Ожоги, металлизацию кожи, механические повреждения, электроофтальмию относят к *местным травмам*.

Технические способы защиты от поражения электротоком:

- а) изоляция токоведущих частей;
- б) применение малых напряжений;
- в) электрическое разделение сетей с помощью трансформаторов;
- г) исключение прикосновения к токоведущим частям (ограждение оборудования, размещение его на недоступной высоте, предупреждающие плакаты, блокировка и др.);
- д) защитное заземление и зануление;
- е) защитное отключение.

|| Плавкие предохранители автоматически отключают питание при аварии.

СИЗ от поражения электрическим током делятся на *основные*, способные длительное время выдерживать рабочее напряжение, и *дополнительные*, усиливающие защитное действие основных средств. К основным изолирующим СИЗ относятся диэлектрические резиновые перчатки и инструмент с изолирующими рукоятками. К дополнительным СИЗ — диэлектрические галоши, коврики и изолирующие подставки.

Кроме того, электрифицированное оборудование выступает источником электрического и магнитного поля, которое при длительном действии вызывает у человека головную боль, вялость, расстройство сна, снижение памяти, боли в сердце. Пребывание в электрическом поле напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение всего рабочего дня. Если напряженность поля выше 5 кВ/м, допустимое время пребывания рабочих ограничивается до нескольких часов или даже минут. ПДУ напряженности электрического поля равен 25 кВ/м.

### **Сочетанное действие**

В производственных условиях человек, как правило, подвергается действию нескольких вредных факторов, и их комплексное негативное влияние может оказаться более значительным, чем одиночное.

Повышение температуры воздуха приводит к увеличению токсичности паров бензина и ртути. Понижение атмосферного давления усиливает токсическое действие бензола и оксидов азота, но ослабляет действие озона.

В связи с этим при исследовании условий труда и состояния здоровья специалистов тоже необходим комплексный подход.

## **2.2. Производственно-хозяйственные нормативы**

Данная группа нормативов предназначена для ограничения деятельности конкретных предприятий с целью защиты природной среды, в нее входят:

- технологические,
- градостроительные,
- рекреационные нормативы.

К *технологическим нормативам* относится предельно допустимый выброс веществ в атмосферу и предельно допустимый сброс веществ в водоемы.

□ **Предельно допустимый выброс (ПДВ)** и **предельно допустимый сброс (ПДС)** — это

максимальное количество загрязняющего вещества от данного источника, разрешенное к выбросу в атмосферу или сбросу в водоем за единицу времени, после которого концентрация в природных объектах не превысит ПДК.

ПДВ и ПДС имеют размерность (г/с) или (т/год).

Устанавливают ПДВ и ПДС для каждого источника отдельно с учетом объемов и природы загрязнений, характеристик предприятия и фоновых концентраций вредных веществ на территории его местонахождения.

□ Под фоновой концентрацией  $C_{\phi}$  (мг/м<sup>3</sup>) понимают такую концентрацию вещества в атмосфере или водном объекте, которую создают все источники загрязнений, расположенные на данной территории, включая природные, за исключением рассматриваемого источника.

В районах действия вулканов фоновая концентрация сероводорода и оксидов азота, как правило, значительно выше, чем в сейсмически спокойных зонах.

Неравенство (2.1), с учетом фоновой концентрации, принимает вид:

$$C_i + C_{\phi} \leq \text{ПДК}_i. \quad (2.4)$$

! Даже на одном предприятии для разных источников загрязнений (цеха, котельная и др.) значения ПДВ и ПДС могут отличаться.

Проекты ПДВ и ПДС разрабатываются экологической службой предприятия или сторонними организациями, оказывающими экологические услуги, затем проходят экспертизу и согласовываются в Роспотребнадзоре и Росприроднадзоре. После этого предприятию выдается *разрешение на выбросы и сбросы* сроком на 5 лет.

Когда по объективным причинам предприятие не может достичь ПДВ и ПДС, государственные органы могут установить временно согласованный выброс (ВСВ) и временно согласованный сброс (ВСС). Эти меры дают предприятию дополнительное

время на поэтапное снижение выбросов и сбросов до уровня ПДВ и ПДС за счет ввода в эксплуатацию очистных сооружений и проведения других экологических мероприятий.

$$\text{✎} \quad \boxed{\text{ВСВ} > \text{ПДВ}} \quad \text{и} \quad \boxed{\text{ВСС} > \text{ПДС}} \quad . \quad (2.5)$$

*Градостроительные нормативы* разрабатывают для обеспечения экологической, социальной, пожарной и другой безопасности при планировке и застройке населенных пунктов.

Согласно Водному кодексу РФ, нельзя размещать жилую застройку в водоохранной зоне водоемов. Для рек и ручьев ширина водоохранной зоны зависит от их протяженности и составляет 50, 100 и 200 м при протяженности до 10 км, от 10 до 50 км и более 50 км соответственно.

*Рекреационные нормативы* определяют правила пользования природными объектами во время отдыха и туризма.

□ **Рекреация** (лат. *recreatio* — восстановление) — это восстановление здоровья и работоспособности благодаря отдыху на природе или во время туристических поездок с посещением национальных парков, архитектурных и исторических памятников.

Для рыболовов-любителей действуют суточные и годовые нормы вылова, несоблюдение которых приводит к уменьшению рыбных запасов и браконьерскому опустошению водоемов.

## 2.3. Экологический мониторинг

Фиксирование изменений в окружающей среде и соответствия ее качества установленным нормативам — функция экологического мониторинга.

□ **Экологический мониторинг** — это комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды для оценки и прогноза изменений под воздействием природных и антропогенных факторов.

Экологический мониторинг имеет иерархическую структуру, включающую в себя следующие уровни: детальный → локальный → региональный → национальный → глобальный.

В указанном ряду увеличивается территория охвата при переходе от одного уровня мониторинга к другому.

*Детальный мониторинг* реализуется в пределах небольшой территории, чаще всего какого-то предприятия. Проводят детальный мониторинг, как правило, экологические службы предприятий или частные компании, оказывающие экологические услуги.

При объединении систем детального мониторинга образуется система *локального мониторинга* для оценки изменений на территории района или города.

Локальные системы, в свою очередь, объединяют в системы *регионального мониторинга*, которые охватывают территории в пределах края или области.

Единая сеть систем регионального мониторинга в пределах государства образует *национальный уровень* экологического мониторинга.

Локальный, региональный и национальный мониторинг осуществляют федеральные органы исполнительной власти:

- а) Министерство природных ресурсов и экологии РФ;
- б) федеральные агентства:
  - по недропользованию,
  - водных ресурсов,
  - лесного хозяйства;
- в) федеральные службы:
  - по надзору в сфере природопользования,
  - по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Существует *фонд данных государственного экологического мониторинга*, им могут воспользоваться все заинтересованные лица: органы власти, хозяйствующие субъекты и граждане.

В рамках экологической программы ООН поставлена задача объединения национальных систем мониторинга в единую межгосударственную сеть — «Глобальную систему мониторинга».



окружающей среды» (ГСМОС). Это высший *глобальный уровень*, назначение которого — в отслеживании природных изменений на планете в целом. В полную силу ГСМОС пока не работает, так как многие государства на сегодняшний день еще не имеют собственных национальных систем экологического мониторинга.

## 2.4. Экологическое законодательство и экологическая информация

□ Экологическое законодательство — это система законодательных и нормативных правовых актов, регулирующая общественные отношения в сфере природопользования, охраны окружающей среды и экологической безопасности.

*Основные экологические законы:*

- ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ;
- ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ;
- Водный кодекс РФ от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ;
- ФЗ «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ;
- Закон РФ «О недрах» от 21.02.1992 г. № 2395-1;
- ФЗ «О животном мире» от 24.04.1995 г. № 52-ФЗ;
- ФЗ «Об экологической экспертизе» от 23.11.1995 г. № 174-ФЗ.

□ Экологическая информация — это сведения о лицах, предметах, событиях, явлениях и процессах, имеющие значение для защиты окружающей среды, обеспечения экологической безопасности и охраны здоровья населения.

Экологическая информация научного характера публикуется в специализированных **периодических изданиях**, наиболее авторитетные из которых приведены ниже.

*На русском языке:*

- Экология;
- Сибирский экологический журнал;

- Экологическая химия;
- Экология и промышленность России;
- Экология производства.

*На английском языке:*

- Journal of Ecology;
- Journal of Animal Ecology;
- Journal of Applied Ecology;
- Landscape Ecology;
- Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics.

### **Контрольные вопросы**

1. Дать определение понятиям «ПДК», «ПДУ» и «ПДН».
2. Назвать нормативы загрязнения атмосферного воздуха и область их применения.
3. Привести формулу А. Аверьянова. В каких случаях ее используют?
4. Указать особенности нормирования качества воды в проточных и непроточных водоемах.
5. Почему для рыбохозяйственных водоемов установлены более жесткие нормативы загрязнений?
6. Дать определение понятиям «ВСВ» и «ВСС». С какой целью их устанавливают?
7. Что такое сочетанное действие вредных факторов?
8. Дать определение понятию «СИЗ». Указать СИЗ, используемые для защиты от шума, вибрации и теплового излучения.
9. Дать определение понятию «экологический мониторинг». Охарактеризовать его структуру.

### 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕШЕНИЯ

Степень загрязнения природных сред химической промышленностью различна и составляет в среднем 1–3 % для атмосферы и 17–20 % для гидросферы. Загрязнение воздуха по сравнению с такими отраслями, как металлургия, энергетика и транспорт, относительно невелико. Что касается водных сред, то большинство химических процессов являются водозатратными, это приводит к образованию значительных объемов сточных вод сложного состава. В почву в результате деятельности химических предприятий попадают в основном нефтепродукты и пестициды. Возможно загрязнение почвы через воздух при оседании вредных веществ либо при их взаимодействии с влагой воздуха и выпадении вместе с осадками.

Решение обозначенных экологических проблем и сбережение природных ресурсов — задачи промышленной экологии.

□ Ресурсосбережение — это организационная, экономическая, техническая, научная и информационная деятельность, направленная на рациональное использование и минимизацию расхода ресурсов (сырья, материалов, воды, газа, электроэнергии и т. д.) на всех этапах производственного цикла.

! *Снижение удельного расхода ресурсов на единицу продукции должно проходить без потери качества продукции.*

Ресурсосберегающая деятельность может идти одновременно в нескольких направлениях:

- оптимизация и автоматизация технологических процессов;
- внедрение в производство инновационных инженерных решений;

- учет и оперативный контроль расхода ресурсов;
- совершенствование систем очистки сбросов и выбросов;
- создание безотходных технологий и замкнутых производственных циклов, что наиболее предпочтительно.

Ресурсосбережение является одним из способов повышения конкурентоспособности химического предприятия и его продукции на мировом рынке.

### 3.1. Выбросы химических предприятий и пути их снижения

#### 3.1.1. Состав атмосферного воздуха

□ Воздух — это природная смесь газов следующего состава, представленного в табл. 3.1.

□ Под загрязнением атмосферного воздуха понимают изменение его естественного состава или попадание новых нехарактерных для него физических, химических и биологических веществ.

Таблица 3.1

Химический состав атмосферного воздуха

Вещество	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	CO <sub>2</sub>	Ne	Σ прочих газов: CH <sub>4</sub> , He, Kr, H <sub>2</sub> , Xe
% об.	78,08	20,94	0,93	0,03	$1,81 \cdot 10^{-3}$	$1,82 \cdot 10^{-2}$

В воздухе всегда есть пары воды, их количественной характеристикой является *абсолютная влажность воздуха* (или *плотность водяного пара*) — это величина, показывающая, какую массу водяных паров содержит 1 м<sup>3</sup> воздуха. Влажность зависит от температуры и давления атмосферного воздуха (табл. 3.2), является одной из важнейших характеристик погоды и климата.

Например, в 1 м<sup>3</sup> воздуха при температуре 0 °С может содержаться до 4,86 г воды, а при +30 °С — уже до 30,4 г.

Таблица 3.2

**Зависимость абсолютной влажности воздуха от температуры**

Температура, °С	–30	–20	–10	0	10	20	30	40
Абсолютная влажность воздуха, г/м <sup>3</sup>	0,46	1,08	2,37	4,86	9,41	17,30	30,40	51,10
Давление насыщенного водяного пара, мм рт. ст.	0,38	0,94	2,14	4,58	9,21	17,50	31,80	55,40

Состав воздуха зависит от географического положения территории, так, в горах наблюдается пониженное содержание кислорода. Кроме того, состав воздуха может меняться под влиянием природных и техногенных процессов.

**3.1.2. Озоновый слой**

Озон  $O_3$  — едкий, ядовитый газ голубого цвета, со специфическим запахом свежести. Около 90 % атмосферного озона содержится в *стратосфере* — верхнем слое атмосферы, располагающемся на высоте от 11 до 50 км от поверхности Земли. Для количественной характеристики озона используют *единицу Добсона* (е. Д.), равную толщине озонового слоя в 10 мкм при нормальных условиях (760 мм рт. ст. и 0 °С), в котором содержится  $2,69 \cdot 10^{16}$  молекул/см<sup>2</sup>.

$$\text{✎} \quad 1 \text{ е. Д.} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м} . \quad (3.1)$$



Гордон Миллер Борн Добсон (1889–1975) — английский физик и метеоролог. Исследовал режим температуры и влажности в стратосфере, в частности, появление конденсационных следов от самолетов. Занимался проблемами загрязнений воздуха. Сконструировал первый прибор для измерения уровня озона, с помощью которого измерил толщину стратосферного озонового слоя в разное время года на разных широтах в Англии, Швейцарии, США, Египте, Индии и Новой Зеландии. Сейчас такие приборы называют озонные спектрометры Добсона. Был президентом Королевского метеорологического общества, награжден золотой медалью Саймонса.

Насыщенность атмосферы озоном постоянно меняется в любой части планеты. В стратосфере общее количество озона колеблется от 220 до 760 е. Д., средняя концентрация составляет 290 е. Д. Существуют закономерности изменения содержания озона в атмосфере, связанные с сезоном и географической широтой. Для высоких широт характерны наибольшие концентрационные колебания, достигающие максимума весной в приполярной области, над экватором колебания практически не наблюдаются (табл. 3.3).

Совокупный процесс образования и разрушения озона в стратосфере был открыт Сидни Чепменом в 1930 г. и позже назван в его честь.

Таблица 3.3

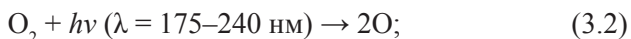
**Зависимость концентрационных колебаний озона  
от географического положения территории\***

Широты	Концентрация O <sub>3</sub> , е. Д.	
	Март	Сентябрь
70–80° с. ш.	450	280
40–45° с. ш.	370	280
< 30° с. ш.	280	280

\* Для южного полушария характерны такие же закономерности.

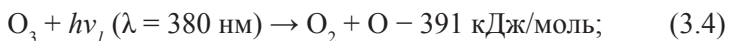
*Цикл Чепмена*

Реакции образования озона:

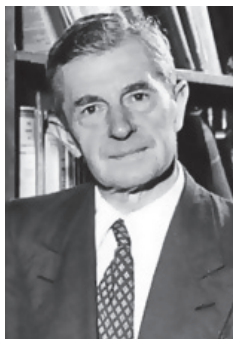


где  $M$  — молекула (обычно  $\text{N}_2$  или  $\text{O}_2$ ), необходимая для отвода энергии.

Реакции распада озона:



Реакции (3.2) и (3.4) — фотохимические, т. е. протекающие под действием светового излучения.



Сидни Чэпмен (1888–1970) — английский математик, геофизик и астроном. Разработал фотохимическую теорию образования стратосферного озона и ионосферных слоев, а также теорию лунно-суточной вариации геомагнитного поля (теорию дрейфовых токов). Вывел кинетическое уравнение для разряженных газов (уравнение Чепмена — Энскога). Исследовал полярное сияние и влияние корпускулярного излучения Солнца на тепловой режим атмосферы. В его честь назван кратер на Луне и здание в кампусе Института геофизики Университета Аляски. Королевское астрономическое общество учредило медаль его имени за достижения в области геофизики.

Динамическое равновесие между реакциями образования и распада озона обеспечивает *нулевой цикл*, согласно которому концентрация озона в стратосфере поддерживается практически на одном уровне.

Озоновый слой защищает поверхность Земли от губительного ультрафиолетового излучения Солнца. Без озонового слоя жизнь на нашей планете была бы невозможна.

### 3.1.3. Классификация выбросов

Выбросы в атмосферу характеризуются по следующим признакам:

1. По происхождению: природные и антропогенные.

К природным источникам загрязнения атмосферы относят извержения вулканов, лесные и степные пожары, цветение растений (пыльца, пух) и др.

Антропогенные источники загрязнения можно разделить на транспортные, производственные и бытовые.

2. По характеру загрязнения:

- физические: механические (пыль) и температурные (выбросы газов, которые значительно теплее или холоднее воздуха);

- химические: газообразные вещества и аэрозоли;
- биологические: споры бактерий и грибов, вирусы, а также продукты их жизнедеятельности (выбросы фармацевтических предприятий).

3. По организации отвода: непрерывные, периодические и залповые.

При залповых выбросах за короткий промежуток времени в воздух выделяется большое количество вредных веществ. Залповые выбросы возможны при авариях, взрывных работах, при сжигании на специальных площадках быстрогорящих отходов производства.

4. По организации очистки и контроля: организованные и неорганизованные, выбрасываемые без очистки и после очистки.

□ **Организованный промышленный выброс** — это выброс, поступающий в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздухопроводы и трубы.

□ **Неорганизованным выбросом** называют промышленный выброс, поступающий в атмосферу в виде ненаправленных потоков газа в результате нарушения герметичности газотводных систем и оборудования либо их отсутствия.

Выбросы без очистки могут быть организованными и неорганизованными, выбросы после очистки — только организованные.

### **3.1.4. Основные антропогенные загрязнители воздуха**

*Оксид углерода CO* или *угарный газ* (IV класс опасности) — бесцветный ядовитый газ без вкуса и запаха. Выделяется при неполном сгорании топлива, а также при производстве аммиака, соды, синтетических волокон, кокса и метанола. При вдыхании CO образует прочные комплексы с гемоглобином крови человека и тем самым блокирует циркуляцию кислорода в организме.

*Двуокись углерода CO<sub>2</sub>* или *углекислый газ* (IV класс опасности) — бесцветный газ с кисловатым запахом и вкусом, продукт полного окисления углерода. Нетоксичен, но ухудшает



самочувствие (слабость, сонливость), что характерно для жителей больших городов.

*Диоксид серы*  $\text{SO}_2$  (II класс опасности) — бесцветный газ с резким запахом, образуется при сгорании серосодержащих видов угля и переработке сернистых руд. Токсичен, вызывает заболевания дыхательных путей.

*Монооксид азота*  $\text{NO}$  (III класс опасности) — бесцветный газ без запаха, в природе образуется при грозовых разрядах и в результате жизнедеятельности нитробактерий, существует только вблизи источника выброса, быстро окисляется до  $\text{NO}_2$ . *Диоксид азота*  $\text{NO}_2$  (II класс опасности) — бурый газ с острым едким запахом, токсичный. *Оксиды азота*  $\text{NO}_x$  образуются в процессах горения, а также на предприятиях, производящих азотные удобрения,  $\text{HNO}_3$  и нитраты, анилиновые красители, нитросоединения.

*Тропосферный озон*  $\text{O}_3$  (I класс опасности) из всех загрязняющих атмосферу газов наиболее токсичен. Если в стратосфере озон необходим, потому что защищает нашу планету от ультрафиолетового излучения, то в тропосфере (нижнем слое атмосферы высотой 8–10 км от поверхности Земли) — выступает опасным загрязнителем. Образуется озон в тропосфере в ходе фотохимических реакций между  $\text{NO}_2$  и летучими органическими соединениями, т. е. озон не входит в состав выбросов, а является продуктом реакций с участием других антропогенных загрязнителей воздуха. Озон — сильный окислитель, молекула  $\text{O}_3$  неустойчива, быстро превращается в  $\text{O}_2$  с выделением тепла.

*Углеводороды* (суммарные) — это тысячи различных веществ, содержащихся в несгоревшем бензине, жидкостях для химчистки, растворителях и т. д.

*Промышленная пыль* может быть четырех видов:

- механическая пыль образуется в ходе процессов истирания или измельчения (пыль цементных заводов);
- возгоны образуются в результате объемной конденсации паров веществ при охлаждении;

- летучая зола — это несгоревшие минеральные остатки топлива, находящиеся в дымовом газе во взвешенном состоянии;
- промышленная сажа — это твердый высокодисперсный углерод, образующийся при неполном сгорании или термическом разложении углеводородов.

Состав выбросов определяется спецификой химического производства.

Например, выбросы предприятий, производящих полупроводники, аккумуляторы и энергосберегающие лампы, могут, кроме основных названных выше загрязнителей, содержать также пары ртути и кадмия (I класс опасности).

### 3.1.5. Последствия загрязнения атмосферы

Атмосферные загрязнения вызывают многообразные неблагоприятные последствия:

1. Негативное влияние на человека, животных и растения.
2. Парниковый эффект.

□ Явление, подобное удержанию тепла под прозрачной пленкой теплиц, в результате которого повышается температура нижних слоев атмосферы Земли, называется **парниковым эффектом**.

Механизм парникового эффекта заключается в следующем: поверхность Земли, нагреваясь от солнечного излучения, сама начинает излучать тепло. Часть этого излучения уходит в космос, а часть — отражается парниковыми газами и нагревает приземные воздушные слои.

К *парниковым газам* относятся:

- водяной пар  $H_2O_{(г)}$ ;
- углекислый газ  $CO_2$ ;
- метан  $CH_4$ ;
- озон  $O_3$ .

Промышленные выбросы парниковых газов могут привести к глобальному потеплению, следствием которого будет таяние ледников и повышение уровня Мирового океана.

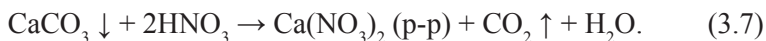
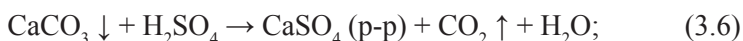
### 3. Кислотные дожди.

□ Под кислотными дождями понимают все виды метеорологических осадков: дождь, снег, град, туман — имеющих pH ниже 5,6.

Незагрязненная дождевая вода имеет слабокислую реакцию pH 5,6 из-за растворения в ней содержащегося в воздухе углекислого газа, поэтому данное значение pH выбрано за пограничное.

Основная причина выпадения кислотных дождей — промышленные выбросы оксидов серы и азота, хлористого водорода и других кислотообразующих соединений. Во влажном воздухе  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  превращаются в аэрозоль  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , оксиды азота  $\text{NO}_x$  — в аэрозоль  $\text{HNO}_3$ .

Кислотные дожди обладают коррозионной активностью и наносят вред металлическим конструкциям, а также разрушают здания и памятники архитектуры, вступая в реакцию с мрамором:



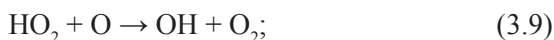
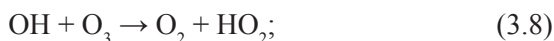
### 4. Озоновые дыры в атмосфере.

□ Под озоновой дырой понимают локальное снижение концентрации озона в озоновом слое, толщина которого в результате становится менее 220 е. Д.

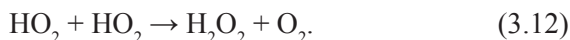
Причина появления озоновых дыр — присутствие в атмосфере радикалов, выступающих катализаторами реакций распада озона:  $\text{OH}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{Cl}$ . Также к озоноразрушающим веществам относятся органические соединения, содержащие хлор или бром (хлорфторуглероды, бромфторуглероды,  $\text{CCl}_4$ ), их техническое название — фреоны. Фреоны применяются как хладагенты, вспениватели и растворители.

### *Циклы разрушения озона*

а) Водородный цикл:

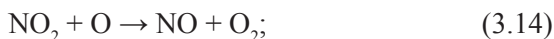
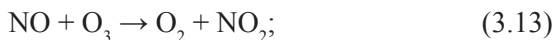


Рекомбинация радикалов:

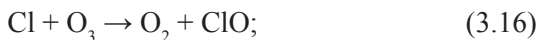


Гидроксильные радикалы OH до вывода из атмосферы разрушают около 100 молекул озона.

б) Азотный цикл:



в) Хлорный цикл:



Результирующими реакциями (3.10), (3.15) и (3.18) во всех трех циклах является одна и та же реакция распада озона (3.5) из цикла Чепмена, только протекает она не под действием светового излучения, как в природном нулевом цикле, а с участием антропогенных загрязнителей. В итоге количество разрушившегося озона начинает превышать количество вновь образованного,

динамическое равновесие в стратосфере нарушается и образуется озоновая дыра.

#### 5. Смог.

□ **С м о г** — это смесь пыли и дыма с туманом, образующая завесу над крупными промышленными городами, в состав дыма входят  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$  и летучие органические вещества (пары бензина, растворителей и др.).

Смог обычно образуется в теплое время года, в солнечную безветренную погоду, когда верхние слои воздуха достаточно теплые, чтобы останавливать вертикальную циркуляцию воздушных масс.

### 3.1.6. Пути снижения выбросов и их вредного воздействия

Экологическая деятельность по снижению выбросов проводится по приведенным ниже направлениям:

1. Создание и внедрение малоотходных и безотходных технологий.
2. Разработка и использование эффективных методов пыле- и газоочистки.
3. Поиск и применение топлива и сырья с меньшим содержанием вредных примесей.
4. Сокращение до минимума неорганизованных выбросов.
5. Усиление контроля за соблюдением технологических регламентов работы производственных и очистных сооружений.
6. Создание санитарно-защитных зон вокруг предприятий.

□ **С а н и т а р н о - з а щ и т н а я з о н а (СЗЗ)** — специальная территория с особым режимом использования, которая устанавливается вокруг объектов и производств, являющихся источниками негативного воздействия на среду обитания и здоровье человека.

СЗЗ является защитным барьером, обеспечивающим экологическую безопасность населения при работе предприятия. За границами СЗЗ концентрация загрязняющих веществ в воздухе не должна превышать  $\text{ПДК}_{\text{CC}}$ .

Размер СЗЗ зависит от класса опасности предприятия и составляет:

- для I класса — 1 000 м;
- для II класса — 500 м;
- для III класса — 300 м;
- для IV класса — 100 м;
- для V класса — 50 м.

Классы опасности присваиваются предприятиям в зависимости от их технических параметров, характеристик эксплуатируемого оборудования и уровня потенциальной опасности в случае аварийной ситуации.

**! Не путать классы опасности вредных веществ и производственных объектов.**

В СЗЗ нельзя размещать жилую застройку, зоны отдыха, садово-огородные участки, образовательные и детские учреждения. Допускается размещать на территории СЗЗ нежилые вспомогательные помещения предприятия: лаборатории, конструкторские бюро, гаражи и т. д.

## **3.2. Стоки химических предприятий и пути сокращения водопотребления**

### **3.2.1. Вода в химической промышленности**

Вода играет решающую роль во многих природных и производственных процессах. Воду, используемую в промышленности, по целевому назначению подразделяют на

- охлаждающую,
- энергетическую,
- технологическую.

*Охлаждающая вода* бывает обратная и подпиточная (добавочная), служит для охлаждения жидких и газообразных продуктов в теплообменных аппаратах.

В промышленности 65–80 % расхода воды потребляется на охлаждение. Суммарное количество воды, заключенной в системах охлаждения химических предприятий, составляет примерно 20 млрд м<sup>3</sup>/год.

*Энергетическая вода* используется для получения пара и нагрева оборудования.

*Технологическую воду* подразделяют на средообразующую, промывающую и реакционную. Средообразующую воду применяют для получения суспензий при обогащении руд, для перемещения продуктов или отходов производства (гидротранспорт). Промывающую воду используют для промывки газообразных (абсорбция), жидких (экстракция) или твердых продуктов и изделий. Реакционная вода входит в состав реагентов или сама выступает реагентом в промышленных процессах.

К качеству технологической воды, особенно реакционной, предъявляют высокие требования, устанавливаемые для каждого технологического процесса с учетом состава сырья, применяемого оборудования и особенностей готового продукта.

□ Под качеством воды понимают совокупность физических, химических и бактериологических показателей, обуславливающих ее пригодность для конкретных технологических целей.

Например, во многих отраслях химической промышленности требуется вода с общей жесткостью не более 0,012 экв/м<sup>3</sup> и содержанием O<sub>2</sub> не более 2 г/м<sup>3</sup>.

Энергетическая и охлаждающая вода не соприкасается с материальными потоками и не загрязняется, а только нагревается. Все три вида технологической воды непосредственно контактируют с материальными потоками, следовательно, загрязняются.

□ Загрязнение воды — это изменение физического и химического состояния или биологических характеристик, ограничивающее ее дальнейшее употребление.

□ **Сточные воды (стоки)** — это воды, бывшие в бытовом, производственном или сельскохозяйственном употреблении, а также прошедшие через какую-либо загрязненную территорию, в результате чего их качество ухудшилось.

Природные воды никогда не бывают абсолютно чистыми. Например, дождевая вода или вода, образующаяся при таянии высокогорных ледников, содержит некоторое количество растворенных газов: кислорода, углекислого газа, окислов азота. Другой пример — это природные водоемы, в которых вода контактирует с самыми разнообразными веществами, поэтому всегда содержит то или иное их количество. В разных реках и озерах состав воды может сильно отличаться. Названия «пресная», «солончатая», «соленая» и «горько-соленая», основанные на вкусовых ощущениях, соответствуют различному содержанию и составу солей в воде. Некоторые воды, как вода из Ессентукских месторождений Кавказа, известная под названием «Ессентуки», благодаря своему химическому составу имеют лечебные свойства.

### **3.2.2. Классификация сточных вод**

Стоки классифицируют по ряду признаков.

**1. По происхождению:**

- производственные — образуются в технологических процессах;
- хозяйственно-бытовые — образуются в результате бытовой жизнедеятельности человека;
- атмосферные (ливневые стоки) — образуются при выпадении атмосферных осадков, делятся на дождевые и талые (таяние снега или льда).

**2. По характеру загрязнения:**

- физические:
  - механические (взвешенные частицы),
  - тепловые (сброс в водоемы нагретых вод тепло- и электростанций),
  - радиоактивные загрязнения;



- химические: органические и минеральные вещества, растворимые газы ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  и др.);
  - биологические: бактерии, грибы, водоросли.
3. По количеству и свойствам загрязняющих веществ:
- концентрированные и малоконцентрированные;
  - токсичные и безвредные;
  - с измененными органолептическими свойствами (вкус, цвет, запах);
  - способные влиять на самоочищение водоемов и т. д.
4. По степени агрессивности:
- неагрессивные;
  - слабо-, средне- и сильноагрессивные.

□ **А г р е с с и в н о с т ь** — способность воды и растворенных в ней веществ путем химического воздействия разрушать различные материалы.

В зависимости от природы растворенных веществ различают следующие виды агрессивности:

- углекислотную ( $\text{HCO}_3^-$ );
- общекислотную (зависит от значения pH, вода может быть сильнокислотной или сильнощелочной);
- сульфатную ( $\text{SO}_4^{2-}$ );
- магниальную ( $\text{Mg}^{2+}$ );
- кислородную (растворенный в воде  $\text{O}_2$ ).

5. По степени очистки перед сбросом в водоем:
- без очистки;
  - нормативно очищенные (до ПДК);
  - условно чистые.

К условно чистым стокам относится отработанная охлаждающая и энергетическая вода. Она не содержит химических и биологических загрязнителей, но имеет более высокую температуру, чем вода в природных водоемах, тем самым нарушает их естественный температурный режим. Это, в свою очередь, может привести к гибели биоценоза в водоеме.

### **3.2.3. Основные антропогенные загрязнители гидросферы**

К основным антропогенным загрязнителям, поступающим в водоемы от химических предприятий, относятся:

- 1) нефтепродукты: бензин, керосин, дизельное топливо, битум, смазочные материалы;
- 2) тяжелые металлы: Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Co, Cr, Ni;
- 3) поверхностно-активные вещества (ПАВ): мыло, шампуни, моющие средства, карбоновые кислоты, амины;
- 4) взвешенные частицы различного состава: песок, шлак, нерастворимые соединения тяжелых металлов (сульфиды, гидроксиды);
- 5) малотоксичные неорганические соли, увеличивающие минерализацию воды: NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub> и т. д.

Состав сточных вод определяется спецификой химического предприятия, кроме вышеназванных загрязнителей, стоки могут содержать и другие вредные вещества.

В стоках многих химических предприятий по количеству доминируют тяжелые металлы, извлечение их из стоков — сложный и трудоемкий процесс. Кроме того, тяжелые металлы представляют большую опасность для человека и окружающей среды, поэтому на их свойствах следует остановиться более подробно.

### **3.2.4. Биогенные и токсические свойства тяжелых цветных металлов**

Технологии получения и переработки тяжелых металлов и их соединений относятся к категории экологически вредных. Очистка образующихся стоков до установленных гигиенических и рыбохозяйственных нормативов (табл. 3.4) — проблема многих предприятий химической отрасли, в первую очередь, гальванических.

С одной стороны, тяжелые металлы относятся к категории необходимых человеку биоэлементов, с другой — к тиоловым ядам, действие которых находится в прямой зависимости от реакции с SH-группами белков. Эффект, биогенный или токсичный,

определяется количеством металлов и временем контакта с организмом.

Как правило, острые интоксикации – это последствия аварий на производстве, и, благодаря комплексу мер по технике безопасности, довольно редкие. Хронические отравления, наоборот, из-за способности тяжелых металлов к кумуляции преобладают как в ряду профзаболеваний, так и у жителей экологически неблагополучных регионов. Их симптомы появляются после некоторого латентного периода, что снижает точность диагностирования и эффективность оказания медицинской помощи.

Таблица 3.4

**Предельно допустимые концентрации  
тяжелых цветных металлов  
для водных объектов различных категорий**

Металл	Вид водопользования					
	Хозяйственно-питьевой, культурно-бытовой			Рыбохозяйственный		
	ПДК, мг/дм <sup>3</sup>	ЛПВ	Класс опасности	ПДК, мг/дм <sup>3</sup>	ЛПВ	Класс опасности
Медь: а) валовое содержание всех растворимых в воде форм б) $\text{CuCl}_2$ в) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1,000 — —	Сан.-токс.	III	0,001 0,005* 0,002 0,004	Токс.	III
Кадмий	0,001	Сан.-токс.	II	0,005 0,010*	Токс.	II
Никель	0,020	Сан.-токс.	II	0,010	Токс.	III
Цинк	1,000	Общ.	III	0,010 0,050*	Токс.	III

*Примечание:* ЛПВ — лимитирующий показатель вредности, по которому установлены ПДК: сан.-токс. — санитарно-токсикологический, токс. — токсикологический, общ. — общесанитарный.

\* ПДК установлены для морей или их отдельных частей.

Содержание *меди* в земной коре невелико – 0,01 масс. %, в природных водах — порядка  $10^{-3}$  мг/л, однако она присутствует во всех живых организмах в количестве  $10^{-15}$ – $10^{-3}$  масс %. Ежедневно с пищей человек должен получать 2–5 мг меди, из которых усваивается 30 %. В организме здорового человека массой тела 70 кг содержится примерно 72 мг меди, 90 % из них — в печени. Медь стимулирует синтез гемоглобина, предупреждает остеопороз, укрепляет стенки сосудов, участвует в обмене веществ, содержится в меланине, отвечающем за пигментацию кожи и волос, в крови циркулирует в составе церулоплазмينا — белка, образующегося в печени, каталитически активного в ряде реакций окисления. При избытке меди биогенные свойства сменяются токсическими. Попадание в желудок 0,2–2,0 г вызывает острое отравление: 0,2–0,5 г – рвоту и диарею, 1–2 г – острый гастроэнтерит, желтуху, анемию, возможен летальный исход от некрозов печени и почек. Хронические отравления проявляются расстройствами нервной системы, снижением иммунитета из-за изменений состава крови, поражением зубов и полости рта, язвенной болезнью желудка.

*Цинк* входит в структуру нескольких сотен ферментов, поддерживает здоровье репродуктивной и иммунной системы, участвует в восстановлении и обновлении тканей, вместе с витамином С оказывает противовирусное действие. При хроническом отравлении цинком наблюдаются желудочно-кишечные расстройства, снижение памяти и слуха, повышенная заболеваемость верхних дыхательных путей.

*Никель* стимулирует синтез эритроцитов, усиливает окислительные процессы в тканях, сохраняет конформацию молекул РНК, обладает антиадреналиновым действием и нормализует содержание кальция в организме. Будучи активным аллергеном, никель вызывает у чувствительных к нему людей экзему и контактный дерматит, обладает канцерогенным действием, имеет сродство к легочной ткани и поражает ее при любом пути поступления в организм в избыточных количествах.

*Кадмий* не является биоэлементом, по токсичности он аналогичен *ртути* и *мышьяку*. В зависимости от пути попадания в организм в первую очередь действует либо на дыхательную систему, либо на желудочно-кишечный тракт. После всасывания в кровь поражает центральную нервную систему, вызывает дегенерацию органов, главным образом, печени и почек, нарушает фосфорно-кальциевый обмен.

### 3.2.5. Последствия загрязнения гидросферы

В России около 60 % всей потребляемой воды приходится на промышленность. Полная очистка образующихся стоков достигается далеко не всегда, и часть токсичных соединений попадает в окружающую среду, вызывая следующие отрицательные последствия:

1. Негативное влияние на человека, животных и растения.
2. Эпидемиологическая опасность водоемов.

Сбрасываемая охлаждающая вода имеет температуру 30–35 °С. Зимой в акватории сброса не образуется ледяной покров. При тепловом загрязнении в водоемах наблюдается неравномерное распределение биогенных веществ и ускорение химических и биохимических реакций, это вызывает дефицит кислорода и ухудшение санитарно-микробиологического состояния воды. В теплой воде создаются благоприятные условия для размножения патогенной микрофлоры, что делает водоемы потенциально опасными в эпидемиологическом отношении.

3. Эвтрофикация.

□ **Эвтрофикация** (от др.-греч. *εὐτροφία* — хорошее питание) — это насыщение водоемов биогенными элементами (фосфором, азотом, углеродом), являющимися питательной средой для микроорганизмов, в результате которого происходит рост биологической продуктивности.

Внешние признаки эвтрофикации: неприятный запах, мутная пленка на поверхности воды, массивный осадок органических отложений на дне, неконтролируемое размножение водорослей,

тины и других микроорганизмов, из-за чего вода приобретает зеленый цвет, «цветет». Водоем превращается в болото и утрачивает хозяйственное значение.

#### 4. Обмеление рек и снижение уровня морей.

Это происходит из-за создания искусственных водоемов и изъятия на хозяйственные цели большого количества воды.

#### 5. Сейсмическая активность водохранилищ.

Землетрясения возникают после достижения определенного уровня воды в водохранилище, причем не только в сейсмически активных областях, но и в пределах стабильных платформ. Эпицентры землетрясений располагаются на расстоянии 110–215 км от водохранилища, а очаги — на глубине 6–8 км. Частота вызываемых толчков связана со скоростью и величиной перепада уровня воды в водохранилище.

#### 6. Дефицит пресной воды.

7. Снижение естественного воспроизводства промысловых видов рыб.

### **3.2.6. Пути уменьшения количества сточных вод**

Уменьшение количества сточных вод — одна из основных экологических проблем, для ее решения необходимо вести работу в нескольких направлениях:

1. Разработка и внедрение безводных технологических процессов (там, где это возможно).
2. Усовершенствование существующих процессов и оборудования.
3. Соблюдение технологических регламентов работы оборудования, своевременное проведение текущего и планового ремонта для устранения протечек и поддержания эксплуатационных показателей.
4. Использование оборудования с воздушным охлаждением.
5. Внедрение экономичных систем водоснабжения на предприятиях.

### 3.2.7. Системы водоснабжения промышленных предприятий

Системы водоснабжения бывают

- прямоточные,
- последовательные,
- замкнутые.

При *прямоточной системе водоснабжения* (рис. 3.1) вся вода после использования при необходимости очищается и сбрасывается в водоем. Прямоточная система предусматривает однократное использование воды.

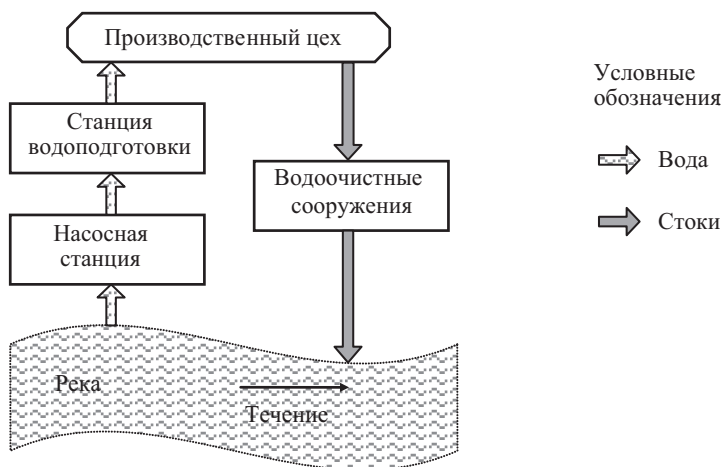


Рис. 3.1. Схема прямоточной системы водоснабжения

При *последовательной системе водоснабжения* (рис. 3.2) вода, использованная в одном цехе, после очистки используется повторно в другом, а в отдельных случаях еще и в третьем цехе. После многократного использования вода очищается и сбрасывается в водоем. Последовательная система, по сравнению с прямоточной, позволяет в несколько раз сократить расход воды.

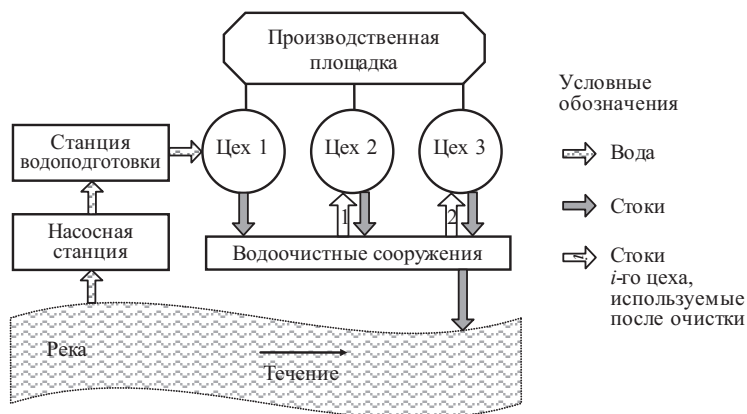


Рис. 3.2. Схема последовательной системы водоснабжения

*Замкнутая система водоснабжения* (рис. 3.3) предполагает «нулевой» сброс, т. е. вода используется в технологическом процессе, очищается и снова возвращается в процесс. Потери составляют 3–5 % от общего количества используемой воды (испарение, протечки), они восполняются из источника водоснабжения.

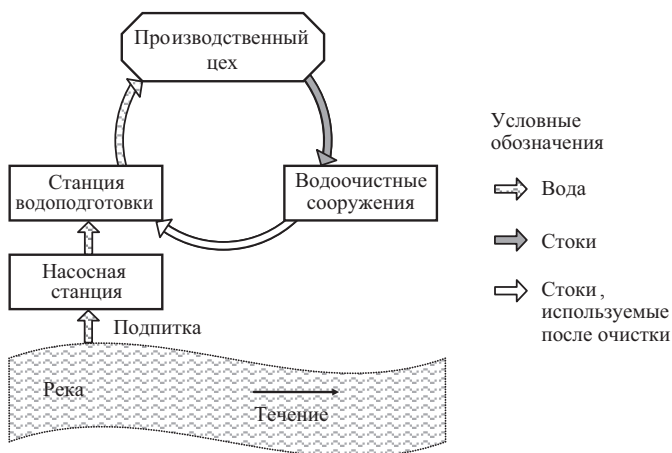


Рис. 3.3. Схема замкнутой системы водоснабжения



Данные системы водоснабжения можно расположить в ряд в порядке возрастания экономии воды:

прямоточные → последовательные → замкнутые.

Замкнутая система водоснабжения является наиболее ресурсосберегающей. Процент оборотного водоснабжения на предприятии — главный показатель эффективности очистной системы — зависит от методов, на которых она базируется. Методы очистки стоков рассмотрены в главе 4.

### **3.3. Отходы химических предприятий и области их вторичного применения**

□ **Отходы** — это вещества или смеси веществ, образующиеся в ходе производственного процесса или после использования продукции и непригодные для дальнейшего применения в рамках имеющихся технологий.

□ **Обращение с отходами** — это все виды деятельности, связанные с образованием, сбором, накоплением, транспортированием, размещением, использованием и обезвреживанием отходов.

|| В России образуется 3,4 млрд тонн отходов в год, из них 2,6 млрд тонн — промышленные отходы.

#### **3.3.1. Классификация отходов**

Отходы различают:

1. По происхождению:

- промышленные;
- бытовые;
- медицинские;
- сельскохозяйственные.

Отходы химической промышленности подразделяют, в свою очередь, *по видам производств*: отходы сернокислотного производства, гальванического производства и т. д.

2. По агрегатному состоянию:

- твердые (основная масса);
- жидкие.

3. По принадлежности к классу опасности:

I класс — чрезвычайно опасные. Сюда относятся отходы, содержащие Hg и ее соединения: гальванические элементы, термометры, ртутные и люминесцентные лампы, а также KCN и бензапирен;

II класс — высокоопасные. Это отходы, содержащие соединения меди и свинца, например, аккумуляторы, а также кислоты:  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$  и др.;

III класс — умеренно опасные. Это осадки очистных сооружений, отходы лакокрасочных материалов и клеев, отработанные масла и фильтры;

IV класс — малоопасные. К этому классу относятся отходы, содержащие фосфаты (остатки удобрений), соединения магния и цинка, а также строительные отходы (бой керамической плитки, стекла и кирпича, застывший раствор, металлолом).

4. По составу и физико-химическим свойствам:

- органические и минеральные;
- металлические и неметаллические;
- химически инертные и химически активные;
- горючие и негорючие;
- растворимые в воде и нерастворимые и т. д.

В этом списке приведены основные физико-химические свойства отходов, определяющие правила обращения с ними и варианты утилизации. В зависимости от специфики отходов список может быть расширен.

5. По возможности использования:

- отходы, подлежащие использованию в качестве вторичных ресурсов;
- отходы, которые на данном этапе развития науки и технологий использовать нецелесообразно, данный вид отходов представляет собой безвозвратные потери.

В соответствии с ФЗ «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ в России разработан *Федеральный классификационный каталог отходов* (классификатор), в котором отходы систематизированы по происхождению, химическому составу и экологической опасности. Каждому виду отходов присвоен идентификационный код.

Принадлежность образующихся на предприятии отходов к той или иной группе классификационного каталога определяется расчетным путем, если известны ПДК веществ, содержащихся в отходах. Если данных для расчета недостаточно, прибегают к экспериментальным методам исследования отходов.

Классификация определяет возможные виды деятельности по обращению с отходами: подлежат вторичному использованию или нет, можно сжигать или нельзя и т. д.

### **3.3.2. Области вторичного применения отходов**

Некоторые виды отходов можно применять как вторичные материальные ресурсы в следующих областях:

- в хозяйственных целях без переработки;

|| Например, в качестве стройматериалов при отсыпке и ремонте дорог, планировке местности, в качестве наполнителей и т. д.

- в качестве сырья;

|| Лом может заменить руду, макулатура — древесину.

- в качестве энергоресурсов.

|| Например, получение биогаза из органических отходов, изготовление топливных брикетов из древесных отходов.

Раздельный сбор отходов расширяет возможности их использования как вторичных ресурсов.

|| Средний уровень использования отходов в России составляет около 26 %, в том числе промышленные отходы перерабатываются на 35 %, твердые бытовые отходы (ТБО) — на 3–4 %, остальные отходы практически не перерабатываются.

### 3.4. Экологическая опасность нанотехнологий

В последние годы появился новый вид загрязнителей, источником которого также является химическая промышленность, — это наноматериалы.

□ **Н а н о м а т е р и а л ы** — материалы, содержащие структурные элементы, геометрические размеры которых хотя бы в одном из измерений не превышают 100 нм, и обладающие качественно новыми свойствами, функциональной активностью и эксплуатационными характеристиками.

В настоящее время нет проверенных и опубликованных сведений о негативном влиянии наноматериалов на окружающую среду и здоровье человека, но промышленный синтез наноматериалов — причина возникновения экологических рисков по следующим причинам:

- ускоренные темпы разработки и производства наноматериалов (промышленного, а не лабораторного) приводят к поступлению наночастиц в окружающую среду;
- наночастицы могут активно проникать в кожу, кровеносную систему, желудочно-кишечный тракт людей и животных, а их свойства, как физико-химические, так, соответственно, и токсикологические, будут отличаться от свойств макрочастиц такого же химического состава.

По прогнозам экспертов, нанотехнологии в будущем станут серьезной экологической проблемой.

### Контрольные вопросы

1. Дать определение понятию «ресурсосбережение». Указать направления ресурсосберегающей деятельности.
2. Что понимают под загрязнением атмосферного воздуха? Какой химический состав имеет чистый атмосферный воздух?
3. Охарактеризовать стратосферный озоновый слой.
4. Назвать последствия загрязнения атмосферы.

5. Привести основные циклы разрушения озона в стратосфере.
6. Дать определение понятию «санитарно-защитная зона». В каких случаях ее устанавливают?
7. Указать целевое назначение воды в промышленности.
8. Дать определение понятиям «качество воды», «загрязнение воды» и «сточные воды».
9. Привести классификацию сточных вод.
10. Какая система водоснабжения наиболее экономичная? Ответ обосновать.
11. По каким причинам происходит эвтрофикация водоемов?
12. Дать определение понятиям «отходы» и «обращение с отходами».
13. Для каких целей разработан классификатор отходов?
14. Назвать области вторичного применения отходов.
15. Почему нанотехнологии представляют опасность для человека и окружающей среды? Ответ обосновать.

## 4. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВЫБРОСОВ, СБРОСОВ И ОТХОДОВ

Одним из направлений ресурсосберегающей деятельности является очистка и обезвреживание выбросов, сбросов и отходов. Правильная ее организация позволяет уменьшить материальные и энергетические затраты при одновременном повышении технологических показателей и обеспечении безопасности окружающей среды.

### 4.1. Методы обезвреживания аэрозолей

□ **Аэрозоль** — это дисперсная система, в которой дисперсионной средой является газ, обычно в воздухе, а дисперсная фаза представлена твердыми частицами или капельками жидкости.

Методы очистки от аэрозолей бывают:

- механические (сухие и мокрые);
- электрические.

#### 4.1.1. Сухие механические методы

*Гравитационный метод* основан на осаждении дисперсной фазы под действием силы тяжести за счет замедления скорости газового потока, позволяет улавливать *крупные взвеси*.

Принцип действия: газовый поток попадает в расширяющуюся камеру гравитационного пылеуловителя, в которой скорость потока замедляется и под действием гравитации происходит осаждение взвешенных частиц.

Конструктивно осаждающие камеры гравитационных пылеуловителей могут быть прямоточного, лабиринтного и полочного типа (рис. 4.1).

*Инерционный метод* основан на осаждении дисперсной фазы за счет силы инерции. Метод применяется для улавливания *крупных частиц*.

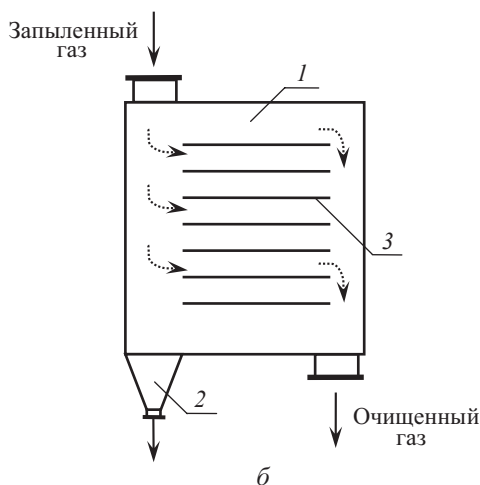
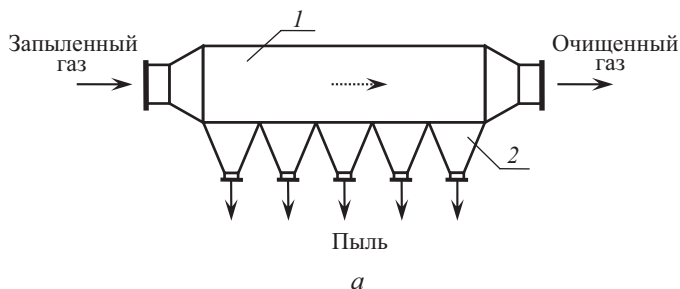


Рис. 4.1. Гравитационный пылеуловитель  
прямоточного (а) и полочного (б) типа:  
1 — пылеосадительная камера; 2 — пылесборник;  
3 — горизонтальная осадительная полка

Принцип действия: газовый поток направляется в инерционный пылеуловитель, в котором при изменении направления движения взвешенные частицы, имеющие плотность в несколько раз больше, чем газ, продолжают двигаться по инерции в прежнем направлении и отделяются от газового потока.

Конструктивно инерционные пылеуловители представлены жалюзийными решетками, зигзагообразными отделителями (рис. 4.2).

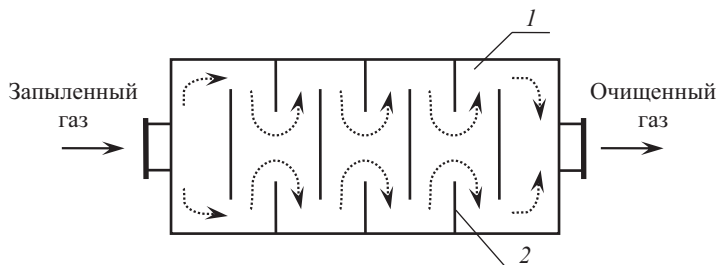


Рис. 4.2. Инерционный пылеуловитель:

1 — пылесадительная камера; 2 — перегородка

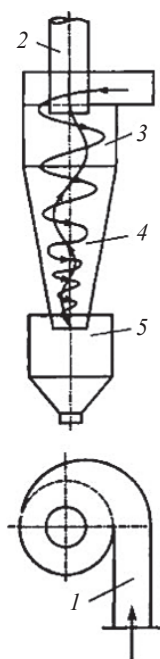


Рис. 4.3. Циклон:

- 1 — входной патрубок;  
2 — выхлопная труба;  
3 — цилиндрическая часть;  
4 — коническая часть;  
5 — пылесборник

Разновидностью инерционного метода очистки является *центробежный метод*, основанный на осаждении дисперсной фазы за счет центробежной силы. В пылеуловителях создается центробежная сила, во много раз превосходящая силу тяжести, благодаря этому осаждается *мелкая пыль размером 10–20 мкм* (рис. 4.3).

*Фильтрационный метод* основан на пропускании газа через бумажные, керамические, тканевые или полимерные материалы. Метод предназначен для *тонкой очистки*, высокоэффективен.

Мешок для сбора мусора в пылесосе (бумажный или тканевый) выполняет функцию фильтра.

#### 4.1.2. Мокрый механический метод

Метод основан на введении жидкости (чаще всего воды) в газовый поток. Жидкость движется с высокой скоро-



стью, дробится на мелкие капли, которые обволакивают частицы пыли, в результате дисперсная фаза укрупняется и осаждается.

Конструктивно промывочные пылеуловители представлены скрубберами, мокрыми пылеуловителями, скоростными пылеуловителями (рис. 4.4), в которых жидкость движется с большой скоростью, и пенными пылеуловителями, в которых газ в виде мелких пузырьков проходит через слой жидкости (воды).

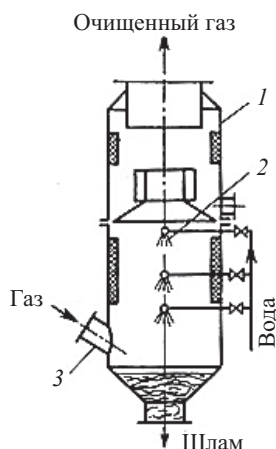


Рис. 4.4. Форсуночный скруббер:

1 — корпус; 2 — форсунки; 3 — входной патрубок

### 4.1.3. Электрический метод

Электрический метод основан на ионизации частиц дисперсной фазы электрическим разрядом на коронирующем электроде с последующим осаждением под действием электрического поля на осадительном электроде (рис. 4.5).

Метод эффективен для удаления токопроводящей пыли. Пыль с высоким удельным электрическим сопротивлением образует на электродах пористый изолирующий слой, препятствующий работе электрофильтров.

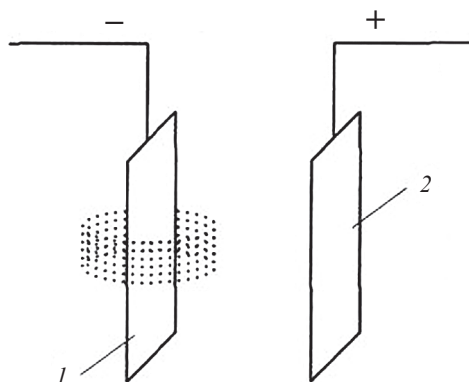


Рис. 4.5. Схематическое представление электрофильтра:

1 — коронирующий электрод; 2 — осадительный электрод

## 4.2. Методы очистки выбросов от газообразных примесей

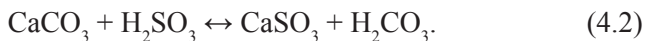
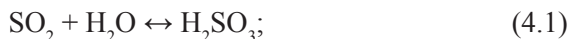
Методов очистки выбросов от газообразных примесей достаточно много, на предприятиях широко используют следующие из них:

- 1) абсорбцию;
- 2) адсорбцию;
- 3) термическую очистку (дожигание);
- 4) каталитическую очистку.

### 4.2.1. Абсорбция

□ Под абсорбционным методом очистки понимают взаимодействие газового потока с растворами реагентов, в результате которого газообразные примеси растворяются в этих растворах (физическая абсорбция) или вступают с ними в химическую реакцию (химическая абсорбция).

Например, абсорбция  $\text{SO}_2$  водой и известняковой суспензией:



В зависимости от поверхности соприкосновения фаз различают поверхностные, барботажные и распылительные абсорбционные аппараты. Чем больше поверхность соприкосновения фаз «жидкость — газ», тем выше эффективность аппаратов. На рис. 4.6 показан пленочный абсорбер, в котором загрязненный газ контактирует с пленкой жидкости (абсорбента), стекающей по пластинам.

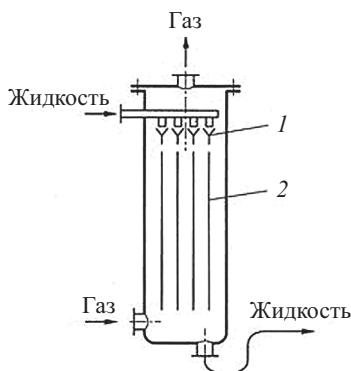


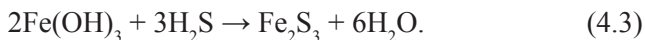
Рис. 4.6. Пленочный абсорбер:

1 — распределительное устройство для подачи жидкости; 2 — пластина

### 4.2.2. Адсорбция

□ Под адсорбционным методом очистки понимают поглощение примеси из газового потока твердым веществом.

Например, очистка газового потока от  $\text{H}_2\text{S}$ :



Адсорбцию проводят с помощью различных пористых веществ: активированного угля, силикагеля, цеолитов — их называют *адсорбентами*. Вредные примеси адсорбируются на поверхности поглотителя, а после его насыщения отгоняются продувкой горячим воздухом или перегретым паром.

*Физическая адсорбция* возникает за счет ван-дер-ваальсовых сил, характеризуется обратимостью и уменьшением адсорбции с ростом температуры, т. е. реакция экзотермическая (тепловой эффект физической адсорбции обычно близок к теплоте сжижения адсорбата, 10–80 кДж/моль).

|| Например, адсорбция инертных газов на угле.

*Химическая адсорбция (хемосорбция)* происходит за счет химической реакции между адсорбентом и примесями в газовом потоке. Хемосорбция обычно необратима, в отличие от физической адсорбции, является локализованной, т. е. молекулы примесей не могут перемещаться по адсорбенту. Хемосорбция требует энергии активации 40–120 кДж/моль, повышение температуры способствует ее протеканию.

|| Примером химической адсорбции является адсорбция кислорода на вольфраме или серебре при высоких температурах.

Следует подчеркнуть, что явления физической и химической адсорбции четко различаются в редких случаях, обычно осуществляются промежуточные варианты, когда основная масса адсорбированного вещества связывается слабо и только небольшая часть — прочно.

На рис. 4.7 представлен вертикальный адсорбер неподвижного слоя с нижней подачей газа. Газовая смесь поступает через центральную трубу в нижнюю часть аппарата, проходит через слой адсорбента 2 и выходит через штуцер 7. Десорбирующий агент подается через трубу 4. Патрубки 5 и 6 предназначены для загрузки и выгрузки адсорбента.

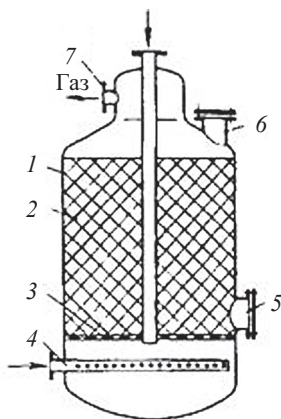


Рис. 4.7. Вертикальный адсорбер неподвижного слоя с нижней подачей газа:

1 — цилиндрический корпус; 2 — слой адсорбента; 3 — газораспределительная решетка; 4 — труба для подачи десорбирующего агента; 5 и 6 — патрубки для загрузки и выгрузки адсорбента; 7 — штуцер для отвода очищенного газа

Адсорбция обеспечивает высокую степень очистки, но не позволяет обезвреживать запыленные газы.

### 4.2.3. Термическое дожигание и каталитические методы очистки

□ Термическое дожигание представляет собой метод обезвреживания газов путем термического окисления вредных веществ, в основном органических, до безвредных или менее вредных, в случае полного окисления — до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

Температуры дожигания для большинства соединений лежат в интервале 750–1 200 °С. При рассмотрении целесообразности термического дожигания следует учитывать затраты энергии и свойства образующихся продуктов горения.

Например, продукты сжигания газов, содержащих серу, галогены или фосфор, могут превосходить по токсичности исходный газовый выброс.

□ Каталитические методы газоочистки заключаются в проведении химических реакций, в ходе которых в присутствии специальных катализаторов вредные газовые примеси превращаются в другие менее опасные соединения (иногда даже полезные).

Дожигание газов в присутствии катализаторов позволяет снизить температуру ведения процесса.

Применение каталитических методов чаще всего ограничивается трудностью поиска и изготовления пригодных для длительной эксплуатации и достаточно дешевых катализаторов.

В качестве катализаторов служат самые различные вещества: от минералов, которые используются почти без всякой обработки, до драгоценных металлов (Pt, Pd) или сложных соединений заданного состава и строения. Одно из основных требований, предъявляемых к катализатору, — это устойчивость его структуры в условиях реакции.

Наибольшее применение каталитические методы находят при очистке газов от оксидов азота, серосодержащих соединений, органических соединений и углекислого газа.

### **4.3. Рекуперация пыли и других продуктов очистки**

□ Рекуперация (от лат. *recuperatio* — возвращение) — использование для промышленной цели какого-нибудь отхода.

Пыль и другие продукты очистки могут быть рекуперированы следующим образом:

1. Использование в качестве целевых продуктов.

|| Сажу используют при производстве резины и в лакокрасочной промышленности.

2. Возврат в производство, в котором происходит образование данного вида пыли.

3. Переработка в другом производстве.

4. Утилизация в строительных целях.
5. Сельскохозяйственное использование (в отдельных случаях).

|| Карбамид  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$  (мочевину) можно использовать в качестве удобрений.

6. Утилизация в процессах, где используются отдельные физико-химические свойства пылевидных материалов.

#### 4.4. Механические методы очистки стоков

Механические методы относятся к стадии предварительной очистки, их применяют для удаления из стоков взвешенных частиц (твердых или жидких).

*Процеживание* — это осветление воды путем пропускания через сита, решетки (рис. 4.8) и т. д. с целью задерживания *грубодисперсных примесей*.

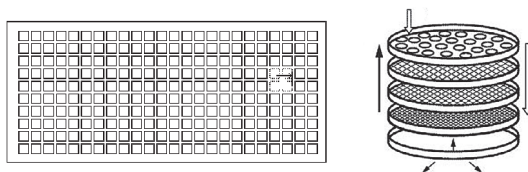


Рис. 4.8. Схема решеток и сит

*Отстаивание* — это медленное расслоение стоков на составляющие их фазы: воду и твердые частицы (оседают вниз) или всплывающие примеси (нефть, масла, жиры), происходящее под действием силы тяжести (рис. 4.9).

*Центрифугирование* (центробежное отстаивание) — это разделение стоков на воду и механические примеси под действием центробежной силы.

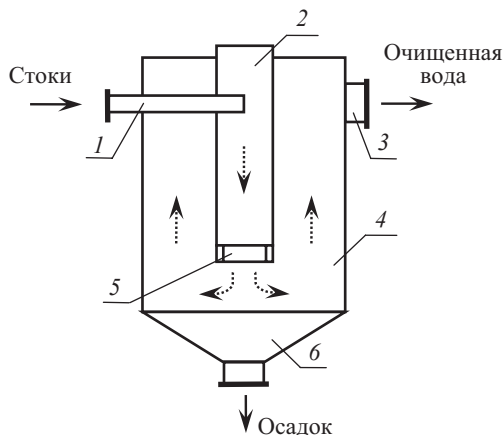


Рис. 4.9. Отстойник:

1 — подводная труба; 2 — внутренний бак; 3 — выпускная труба;  
4 — наружный бак; 5 — гаситель; 6 — грязеспуск

**Фильтрация** — это выделение из стоков мелкодисперсных примесей, удаление которых отстаиванием затруднено, с помощью пористых перегородок (фильтров). Фильтры бывают металлические, тканевые, асбестовые, бумажные, из синтетических волокон. Процесс может идти под действием гидростатического давления столба жидкости, повышенного давления над фильтром или вакуума после фильтра.

## 4.5. Физико-химические методы очистки стоков

### 4.5.1. Методы очистки от мелкодисперсных примесей

Данные методы применяют для извлечения из стоков примесей, которые плохо отстаиваются под действием силы тяжести.

□ **Коагуляция** — это процесс укрупнения частиц в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты.

Потеря агрегативной устойчивости системы имеет место вблизи изоэлектрической точки, когда над электростатическим барьером отталкивания преобладают межмолекулярные силы



притяжения Ван-дер-Ваальса. Чтобы вызвать коагуляцию, необходимо снизить величину  $\xi$ -потенциала до значения, близкого к нулю, поэтому в качестве коагулянтов используют поливалентные ионы с зарядом, противоположным знаку заряда загрязняющих частиц. Чаще всего это соли алюминия и железа.

Например, отрицательно заряженные частицы  $\text{CuS}$  коагулируют катионами этих металлов, частицы  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , имеющие положительный заряд, —  $\text{SO}_4^{2-}$ -ионами.

Для снижения расхода коагулянтов, расширения оптимальной области коагуляции по pH и температуре, а также повышения плотности и прочности образующихся агрегатов часто применяют флокулянты.

□ **Флокулянты** — это высокомолекулярные соединения, интенсифицирующие агрегацию и осаждение взвешенных частиц за счет адсорбции на их поверхности и образования между ними полимерных мостиков.

Флокулянты классифицируют по

- природе (органические и неорганические),
- происхождению (природные и синтетические),
- свойствам (анионные, катионные и неионогенные).

Широко применяемыми флокулянтами являются крахмал и целлюлоза, а также их производные; активный диоксид кремния  $x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ ; полиакриламид (ПАА).

□ **Флотация** — это метод очистки стоков, основанный на прилипании взвешенных примесей к пузырькам воздуха и всплывании их на поверхность.

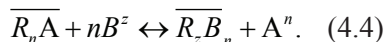
Слипание пузырьков с частицами загрязнений обусловлено уменьшением поверхностной энергии на границе раздела фаз «жидкость — газ». При *электрофлотации* вместо воздуха через стоки пропускают пузырьки газа, образующегося при электролизе воды (на аноде — кислорода, на катоде — водорода). Растворимые электроды повышают эффективность электрофлотации (коагуляция).

### 4.5.2. Методы очистки от растворимых минеральных и органических веществ

□ Сорбция — это процесс взаимодействия раствора с твердой фазой (сорбентом), сопровождающийся одновременно ионным обменом и адсорбцией, — процессами, разными по природе, но трудно разграничиваемыми на практике (рис. 4.10).

Первые упоминания о сорбции как методе получения пресной воды из морской путем фильтрации через слои почвы или песка встречаются еще в трудах Аристотеля (IV в. до н. э.).

Ионный обмен представляет собой гетерогенную химическую реакцию взаимного обмена ионов между фазами ионообменника (обозначен чертой вверху) и раствора, идущую до установления равновесия:



Применяют ионный обмен для извлечения из стоков металлов и радиоактивных веществ.

Адсорбция — это физический процесс поглощения растворенного вещества адсорбентом, который, в отличие от ионообменника, не отдает в раствор никаких ионов. Применяют адсорбцию для удаления органических веществ: красителей, пестицидов, ПАВ.

Сорбенты бывают природные и искусственные, неорганические и органические. По знаку

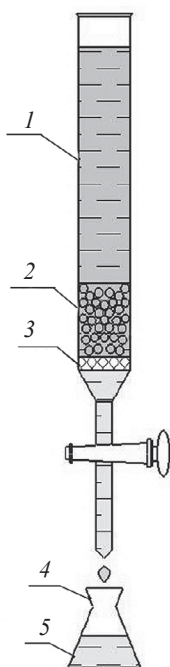


Рис. 4.10. Сорбционная колонна:

- 1 — исходный раствор (раствор сорбата); 2 — слой сорбента;
- 3 — проницаемая перегородка;
- 4 — приемник;
- 5 — очищенный раствор

заряда обменивающихся ионов различают катиониты и аниониты. Существуют также амфотерные соединения, способные к катионному и анионному обмену. В зависимости от степени диссоциации функциональных групп сорбенты проявляют свойства сильных либо слабых кислот и оснований или смешанные свойства, если в их составе находятся группы разной химической природы.

Чаще всего используют ионообменные смолы, активированный уголь, глинистые минералы (каолинит и монтмориллонит), целлюлозные материалы, гидроксиды многовалентных металлов (железо, титан, марганец).

Концентрация извлекаемых веществ в стоках *не должна превышать 1 г/л*.

□ **Экстракция** — процесс перераспределения загрязнителей в смеси двух взаимно нерастворимых жидкостей: сточной воды и экстрагента, в ходе которого примеси из стоков должны перейти в экстрагент.

Очистка стоков экстракцией состоит из трех стадий (рис. 4.11):

- 1) интенсивное смешение сточной воды с экстрагентом;
- 2) разделение экстракта и рафината, экстракт содержит извлекаемое вещество и экстрагент, рафинат — сточную воду и экстрагент;
- 3) регенерация экстрагента из экстракта и рафината.

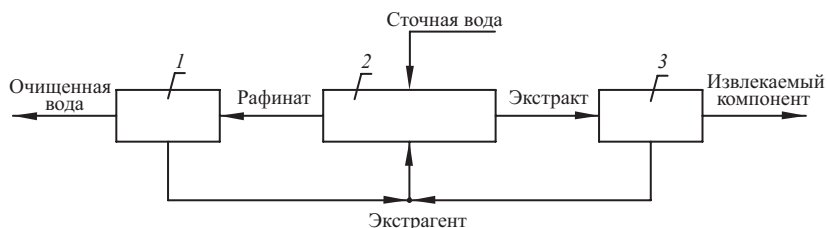


Рис. 4.11. Схема непрерывной противоточной экстракции с регенерацией экстрагента из экстракта и рафината:

1 — система удаления экстрагента из рафината; 2 — смеситель;  
3 — система удаления экстрагента из экстракта

Экстрагент должен растворять загрязнители лучше, чем вода, но не взаимодействовать с ними; обладать большой селективностью растворения; иметь низкую растворимость в сточной воде и значительно отличаться от нее по плотности; регенерироваться простым и дешевым способом. В качестве экстрагентов используют органические кислоты, эфиры, спирты, кетоны, амины.

Экстракцию применяют для извлечения из стоков *масел, фенолов, тяжелых металлов*.

□ Обратный осмос и ультрафильтрация — это процессы фильтрования стоков через полупроницаемые мембраны под давлением, превышающим осмотическое.

Мембраны пропускают молекулы воды, задерживая растворенные вещества, изготавливают мембраны из полимеров: ацетатцеллюлозы, полиэтилена, политетрафторэтилена и др. При обратном осмосе отделяются частицы, размеры которых не превышают размеры молекул воды, при ультрафильтрации размер частиц на порядок больше. Давление, необходимое для проведения обратного осмоса, — 6–10 МПа, для ультрафильтрации — 0,1–0,5 МПа, что значительно меньше, но качество очистки ниже.

Применяют обратный осмос и ультрафильтрацию для *обессоливания воды*.

□ Анодное окисление и катодное восстановление — это электрохимические процессы, происходящие в электролизере (рис. 4.12) и позволяющие переводить загрязнители в менее токсичные соединения или в легко выводимую из воды форму (осадок, газ).

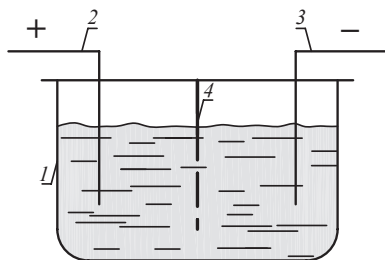


Рис. 4.12. Электролизер:

*I* — корпус; 2 — анод; 3 — катод; 4 — диафрагма

Применяют эти процессы для обезвреживания *цианидов, меркаптанов, нитросоединений, тяжелых металлов* (металлы осаждаются на катоде и могут быть рекуперированы).

Достоинство рассмотренных методов — в возможности получения глубоко очищенной воды (до 1–2 мг/л), недостатки: дороговизна и ограничения по солесодержанию стоков.

#### **4.6. Химические методы очистки стоков**

Химические методы очистки основаны на проведении реакций нейтрализации, окисления или восстановления с участием загрязнителей. Процесс может проводиться различным путем:

- Смешением кислых и щелочных сточных вод (применяют, если на одном предприятии образуются кислые и щелочные воды).
- Добавлением реагентов:  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , известковое молоко.
- Фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы (магнезит, доломит, известняк) или отходы (шлак, зола). Использование отходов является ресурсосберегающим решением.
- Хемосорбцией кислых газов ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ) щелочными водами или  $\text{NH}_3$  кислыми водами. Метод является ресурсосберегающим, так как позволяет одновременно очищать от вредных компонентов стоки и газы.

Химические методы применяют для очистки стоков, содержащих *кислоты, щелочи и тяжелые металлы*.

#### **4.7. Биохимические методы очистки стоков**

Методы основаны на способности некоторых микроорганизмов питаться растворенными в стоках загрязнителями либо выделять в процессе жизнедеятельности вещества, вступающие с загрязнителями в реакции с образованием менее токсичных и легко отделяющихся от воды соединений.

Микроорганизмы в зависимости от условий среды обитания делятся на

- аэробов и анаэробов (отношение к молекулярному кислороду),
- галофилов и галофобов (способность обитать в условиях солености),
- термо- и мезофилов (потребность в поддержании температуры среды).

Применяют биохимические методы очистки в основном для удаления органических веществ (источник углерода для питания микроорганизмов) и ряда неорганических:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ , сульфидов и нитритов.

Очистка может проходить в природных условиях — поля орошения, биологические пруды, а также в искусственных сооружениях — аэротенках и биофильтрах.

Например, сульфатредуцирующие бактерии восстанавливают сульфат-ионы до сероводорода, который, в свою очередь, осаждает тяжелые металлы в виде сульфидов.

## 4.8. Термические методы очистки стоков

Термические методы очистки основаны на выделении молекул воды из стоков путем фазовых превращений. Очистку можно провести путем

- выпаривания,
- вымораживания,
- кристаллогидратным способом.

□ **В ы п а р и в а н и е** — это концентрирование стоков путем частичного испарения воды при кипении.

Метод позволяет получать условно чистую воду. Недостатки: большой расход тепла и образование накипи на оборудовании.

□ **В ы м о р а ж и в а н и е** — это выделение воды из стоков при охлаждении ниже температуры плавления ( $0^\circ\text{C}$ ).

Метод основан на том, что температура заморзания воды выше, чем раствора, поэтому при медленном ее понижении

образуются сравнительно крупные, легко отделяемые от жидкости кристаллы с меньшим включением загрязняющих веществ. Недостаток: режим медленного переохлаждения сложно поддерживать.

□ Кристаллогидратное концентрирование основано на способности некоторых газов М: фреонов, пропана, хлора и др. — взаимодействовать с водой с образованием гидратов  $M \cdot nH_2O$ .

Реакция идет строго в определенных условиях, нарушение которых ведет к плавлению гидратов и выделению воды, а из нее — паров гидратообразующего агента. Газ должен быть дешевым, нетоксичным, огне- и взрывобезопасным, широко распространенным в природе. Наиболее пригоден  $CO_2$ .

Термические методы являются энергоемкими. Из-за этого недостатка, а также сложности термооборудования и дороговизны его эксплуатации к ним прибегают нечасто.

Термические методы применяют в основном для очистки стоков от *минеральных солей и тяжелых металлов*.

## **4.9. Методы переработки отходов, вторичное применение которых нецелесообразно**

### **4.9.1. Огневая переработка**

□ Огневая переработка — это процесс высокотемпературного разложения и окисления токсичных отходов с образованием менее токсичных дымовых газов и золы.

В зависимости от типа отходов огневую переработку проводят несколькими способами:

- *сжигание отходов*, способных гореть самостоятельно. Это наиболее простой способ, горение происходит при 1 200–1 300 °С;
- *огневой окислительный и огневой восстановительный методы* — это сложные физико-химические процессы, в ходе которых осуществляется соответствующее химическое превращение (окисление или восстановление)

- негорючих отходов в горючие компоненты. Их дожигают с образованием дымовых газов, шлака и золы;
- *огневая регенерация* предназначена для извлечения из отходов какого-либо реагента или восстановления свойств отработанных реагентов (ресурсосберегающий метод).

Недостатки: огневую переработку отходов необходимо вести в оптимальных условиях, при отклонении от которых в продуктах сгорания появятся вредные компоненты; загрязнение атмосферы продуктами горения; метод пригоден не для всех видов отходов (пластик, батарейки при горении выделяют множество ядовитых веществ).

#### 4.9.2. Термическая переработка

*Жидкофазное окисление* (мокрое сжигание) используется для обезвреживания органических осадков, получаемых при очистке стоков, проводится при температуре около 350 °С и давлении 28 МПа, при постоянной подаче сжатого воздуха. Содержащийся в воздухе кислород выступает окислителем. Необходимая влажность осадка около 96 %.

*Гетерогенный катализ* (окислительный) применяют для обезвреживания жидких отходов с низким содержанием горючих примесей. Окисление на катализаторах идет при 200–300 °С, что ниже температуры самовоспламенения горючих компонентов в отходах (при сжигании 1 200–1 300 °С).

Наиболее эффективными катализаторами являются металлы платиновой группы, также каталитическую активность проявляют оксиды алюминия, меди, хрома и др.

Для увеличения удельной поверхности катализаторов и экономии дорогостоящих металлов используют пористые носители. Гетерогенный катализ неприменим для обезвреживания высококипящих и высокомолекулярных соединений из-за неполного их окисления и забивания поверхности катализатора, а также соединений, отравляющих катализаторы: Р, Pb, As, Hg, S, галогенов.



□ **П и р о л и з** — это процесс термического разложения отходов, происходящий без доступа воздуха, применяется для обезвреживания твердых отходов или осадков сточных вод, в результате образуется пиролизный газ, жидкие продукты (смолы, масла) и твердый углеродистый остаток.

Пиролизный газ представляет собой смесь  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$  и непредельных углеводородов: этилен, пропилен и др.

В зависимости от температуры различают три вида пиролиза:

- *низкотемпературный пиролиз*, или *полукоксование*, проводится при 450–550 °С, выход жидких продуктов и твердого остатка максимальный, а пиролизного газа — минимальный, но газ обладает максимальной теплотой сгорания;
- *среднетемпературный пиролиз* проводится при температуре до 800 °С, в этих условиях увеличивается выход газа, но снижается его теплота сгорания, одновременно снижается выход жидких и твердых продуктов;
- *высокотемпературный пиролиз* или *коксование*, идет при 900–1 050 °С, выход жидких и твердых продуктов минимален, а выход пиролизного газа максимален, но такой газ имеет самую низкую теплоту сгорания. Данный вид пиролиза предпочтительнее, так как происходит более полное выделение летучих продуктов, а количество твердого остатка сокращается.

Основной недостаток термической переработки отходов — большие энергозатраты, следовательно, высокая стоимость.

### 4.9.3. Захоронение, хранение и компостирование

*Захоронение* используется для промышленных отходов, не подлежащих дальнейшей переработке.

Места захоронения должны соответствовать ряду требований:

- удаленность от населенных пунктов и территорий, подверженных движению земной коры;
- исключение попадания отходов в грунтовые воды;

- возможность надежной консервации заполненных захоронений.

В качестве мест захоронения отходов часто используют выработанные пространства, которые образуются в земле после добычи полезных ископаемых.

*Хранение* отходов отличается от захоронения тем, что не исключается возможность дальнейшей переработки и применения отходов. В зависимости от класса опасности отходов к хранилищам предъявляют различные требования, иногда даже более жесткие, чем к местам захоронений (крытые помещения, специальные контейнеры и т. д.).

*Компостирование* — это метод обезвреживания органических малотоксичных отходов, основанный на разложении их микроорганизмами с образованием удобрений.

Компостирование пригодно для узкого перечня отходов. Стекло, пластик, металлы, высокотоксичные отходы компостированию не подвергаются.

## Контрольные вопросы

1. Охарактеризовать сухие методы очистки аэрозолей.
2. Назвать возможные варианты рекуперации извлеченных вредных веществ.
3. Для какого состава стоков применяются коагуляция и флокуляция?
4. Назвать основные отличия ионного обмена и адсорбции.
5. Какие достоинства и недостатки у термических методов очистки стоков?
6. Охарактеризовать метод огневой переработки отходов.
7. Какие отходы нельзя обезвреживать методом гетерогенного катализа?
8. В каких случаях химический метод очистки стоков можно рассматривать как ресурсосберегающий?
9. Дать определение понятию «пиролиз». Указать виды пиролиза.

10. Назвать требования, предъявляемые к гидратообразующим газам.
11. Дать определение понятиям «флотация» и «электрофлотация». Как можно повысить эффективность этих процессов?
12. Охарактеризовать биохимические методы очистки стоков.
13. Для какого состава стоков применяют сорбционные методы очистки?
14. Назвать основные отличия между захоронением и хранением отходов.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Задача 1

При производстве 100 м<sup>2</sup> черепицы используют следующие реагенты:

- отходы пластмассы (полиэтилен, полипропилен и др.) — 500 кг;
- наполнитель (мраморная крошка, молотое стекло) — 1 580 кг;
- краситель — 12,5 кг.

Расход электроэнергии — 18 кВт/ч, производительность установки — 35 м<sup>2</sup> за смену. Выбрать и обосновать график работы установки. Рассчитать необходимое количество реагентов и электроэнергии для работы установки в течение месяца.

**Дано:**

$$m_{1, \text{отходы}} = 500 \text{ кг}, \quad m_{1, \text{нап-ль}} = 1\,580 \text{ кг}, \quad m_{1, \text{крас-ль}} = 12,5 \text{ кг},$$

$$S_2 = 35 \text{ м}^2, \quad S_1 = 100 \text{ м}^2,$$

$$W = 18 \text{ кВт/ч}, \quad \tau = 1 \text{ месяц}.$$

**Найти:**

$$m_{\tau, \text{отходы}}, m_{\tau, \text{нап-ль}}, m_{\tau, \text{крас-ль}} - ? \quad W_{\tau} - ?$$

**Решение:**

1) Масса реагентов, израсходованная за смену:

$$m_{2,i} = (S_2/S_1) \cdot m_{1,i}, \quad \frac{S_2}{S_1} = \frac{35}{100} = 0,35,$$

$$m_{2, \text{отходы}} = 0,35 \cdot 500 = 175 \text{ кг},$$

$$m_{2, \text{нап-ль}} = 0,35 \cdot 1\,580 = 553 \text{ кг},$$

$$m_{2, \text{крас-ль}} = 0,35 \cdot 12,5 = 4,38 \text{ кг}.$$

2) Пусть на установке работают 5 дней в неделю в 2 смены, смена 8 часов. Работать в 1 или 3 смены нецелесообразно, так как

в первом случае много времени будет уходить на подготовительные работы и пуск оборудования, во втором — будет низкая производительность работы в ночные смены. Значит, работают 22 дня в месяц, 44 смены.

3) Количество реагентов и электроэнергии, необходимое для работы установки в течение месяца:

$$m_{\text{т, отходы}} = 44 \cdot m_{2, \text{отходы}} = 44 \cdot 175 = 7\,700 \text{ кг},$$

$$m_{\text{т, нап-ль}} = 44 \cdot m_{2, \text{нап-ль}} = 44 \cdot 553 = 24\,332 \text{ кг},$$

$$m_{\text{т, крас-ль}} = 44 \cdot m_{2, \text{крас-ль}} = 44 \cdot 4,38 = 192,5 \text{ кг},$$

$$W_{\text{т}} = W \cdot \tau = 18 \cdot 8 \cdot 44 = 6\,336 \text{ кВт}.$$

**Ответ:**

$$m_{\text{т, отходы}} = 7\,700 \text{ кг},$$

$$m_{\text{т, нап-ль}} = 24\,332 \text{ кг},$$

$$m_{\text{т, крас-ль}} = 192,5 \text{ кг},$$

$$W_{\text{т}} = 6\,336 \text{ кВт}.$$

## Задача 2

Валовое выделение окрасочного аэрозоля в специализированной камере составляет 18,7 т/год. Камера оснащена гидрофилтром с эффективностью улавливания аэрозоля 91 %. Общее время работы камеры за год 4 540 часов, причем в течение 320 часов подача воды отсутствовала и гидрофилтър был в аварийном состоянии. Определить валовый выброс аэрозоля в атмосферу за год и количество уловленного аэрозоля.

**Дано:**

$$m_{1, \text{камера}} = 18,7 \text{ т/год}, \quad \eta = 91 \%,$$

$$\tau_{\text{общ.}} = 4\,540 \text{ ч}, \quad \tau_{\text{авария}} = 320 \text{ ч}.$$

**Найти:**

$$m_{\text{выброс}} - ? \quad m_{\text{филтър}} - ?$$

**Решение:**

1) Время работы гидрофилттра:

$$\tau_{\text{работа}} = \tau_{\text{общ}} - \tau_{\text{авария}} = 4\,540 - 320 = 4\,220 \text{ ч/год}.$$

2) Валовый выброс аэрозоля в камере за час:

$$m_{2, \text{камера}} = m_{1, \text{камера}} / \tau_{\text{общ}} = 18\,700 / 4\,540 = 4,12 \text{ кг/ч}.$$

3) Количество аэрозоля, уловленное гидрофилтром за год:

$$m_{\text{фильтр}} = m_{2, \text{ камера}} \cdot \eta \cdot \tau_{\text{работа}} = 4,12 \cdot 0,91 \cdot 4\,220 = 15,8 \text{ т/год.}$$

4) Валовый выброс аэрозоля в атмосферу за год:

$$m_{\text{выброс}} = m_{1, \text{ камера}} - m_{\text{фильтр}} = 18,7 - 15,8 = 2,9 \text{ т/год.}$$

**Ответ:**

$$m_{\text{фильтр}} = 15,8 \text{ т/год,} \quad m_{\text{выброс}} = 2,9 \text{ т/год.}$$

### Задача 3

Определить запасы меди в шламах обогатительного комбината массой 40 млн т и время, в течение которого завод будет загружен переработкой шлама, если используемая на заводе технология рассчитана на переработку 0,2 млн т в год. Содержание меди в шламах 0,25 масс. %. Рассчитать массу готовой металлической продукции, если КПД технологии составляет 92 %, а чистота получаемого металла — 99,5 %.

**Дано:**

$$\varphi = 0,25 \%, \quad m_{\text{шлам}} = 4 \cdot 10^7 \text{ т} = 4 \cdot 10^{10} \text{ кг,}$$

$$m_{\text{технология}} = 2 \cdot 10^5 \text{ т/год} = 2 \cdot 10^8 \text{ кг/год,}$$

$$\eta = 92 \%, \quad \alpha = 99,5 \, \%.$$

**Найти:**

$$m_{\text{Cu, шлам}} - ? \quad m_{\text{Cu, продукция}} - ? \quad \tau - ?$$

**Решение:**

1) Масса меди в шламе:

$$m_{\text{Cu, шлам}} = m_{\text{шлам}} \cdot \varphi = 4 \cdot 10^{10} \cdot 0,0025 = 1 \cdot 10^8 \text{ кг (100 000 т).}$$

2) Время переработки шлама:

$$\tau = \frac{m_{\text{шлам}}}{m_{\text{технология}}} = \frac{4 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 10^8} = 200 \text{ лет.}$$

3) Учет потерь при переработке:

$$m_{\text{полезная}} = \eta \cdot m_{\text{шлам}} = 0,92 \cdot 4 \cdot 10^{10} = 3,68 \cdot 10^{10} \text{ кг,}$$

$$m_{\text{Cu, полезная}} = \varphi \cdot m_{\text{полезная}} = 0,0025 \cdot 3,68 \cdot 10^{10} = 9,2 \cdot 10^7 \text{ кг.}$$

4) Масса готовой металлической продукции определяется из пропорции:

$$m_{\text{Cu, полезная}} \text{ — } 99,5 \%,$$

$$m_{\text{примеси}} \text{ — } 0,5 \%,$$

$$m_{\text{примеси}} = 9,2 \cdot 10^7 \cdot 0,005 / 0,995 = 4,62 \cdot 10^5 \text{ кг},$$

$$m_{\text{Cu, продукция}} = m_{\text{Cu, полезная}} + m_{\text{примеси}} = 9,2 \cdot 10^7 + 0,0462 \cdot 10^7 \approx 9,25 \cdot 10^7 \text{ кг}.$$

**Ответ:**

$$m_{\text{Cu, шлам}} = 1 \cdot 10^8 \text{ кг}, \quad \tau = 200 \text{ лет},$$

$$m_{\text{Cu, продукция}} = 9,25 \cdot 10^7 \text{ кг}.$$

#### Задача 4

В воздухе населенного пункта одновременно присутствуют пары фенола и ацетона в концентрациях 0,009 и 0,345 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Отвечает ли нормативам состав воздуха населенного пункта?

**Дано:**

$$C_{\text{ацетона}} = 0,345 \text{ мг/м}^3, \quad C_{\text{фенола}} = 0,009 \text{ мг/м}^3.$$

**Справочные величины:**

$$\text{ПДК}_{\text{сс, ацетона}} = 0,35 \text{ мг/м}^3, \quad \text{ПДК}_{\text{сс, фенола}} = 0,01 \text{ мг/м}^3.$$

Вещества обладают эффектом суммации.

**Решение:**

1) Оба вещества присутствуют в воздухе в концентрациях меньших, чем установленные для них ПДК.

2) При содержании в природном объекте нескольких загрязняющих веществ, обладающих эффектом суммации, применяют формулу А. Аверьянова:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1,$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  и  $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$  — фактические и предельно допустимые концентрации веществ, обладающих эффектом суммации, мг/м<sup>3</sup>.

$$\frac{0,345}{0,35} + \frac{0,009}{0,9} < 1,$$

$$0,986 + 0,01 < 1,$$

$$0,996 < 1.$$

Неравенство верно.

**Ответ:** состав воздуха населенного пункта соответствует нормативам.

### Задача 5

В первую смену перед началом работы установки по приготовлению раствора в нее было загружено 5 т воды и 2 т соли. В начале второй смены было добавлено 3,5 т воды и 0,5 т соли. Коэффициент полезного действия установки равен 96 %. Масса производимого за смену раствора составляет 5 т, концентрация соли в нем — 20 масс. %. Определить:

- 1) массу соли, попадающую в окружающую среду за 2 смены работы установки;
- 2) массу соли и воды, оставшуюся в баке установки к концу второй смены.

**Дано:**

$$m_{1, \text{H}_2\text{O}} = 5 \text{ т},$$

$$m_{1, \text{соль}} = 2 \text{ т},$$

$$m_{2, \text{H}_2\text{O}} = 3,5 \text{ т},$$

$$m_{2, \text{соль}} = 0,5 \text{ т},$$

$$m_{\text{р-р}} = 5 \text{ т},$$

$$C_{\text{р-р}} = 20 \text{ масс. \%},$$

$$\eta = 96 \text{ \%}.$$

**Найти:**

$$m_{\text{H}_2\text{O, ост.}} - ?$$

$$m_{\text{соль, ост.}} - ?$$

$$m_{\text{соль, сброс}} - ?$$

**Решение:**

1-я смена

Приход, т		Расход, т	
Соль	2	Раствор: соль вода	5 $0,2 \cdot 5 = 1$ $5 - 1 = 4$
Вода	5	Потери раствора: соль вода	$5 \cdot (1 - 0,96) = 0,2$ $0,2 \cdot 0,2 = 0,04$ $0,2 - 0,04 = 0,16$
<i>Итого</i>	7	<i>Итого</i>	5,2



Остаток к концу 1-й смены: приход — расход =  $7 - 5,2 = 1,8$  т.

$$m_{\text{соль, ост.1}} = 2 - 1 - 0,04 = 0,96 \text{ т,}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O, ост.1}} = 5 - 4 - 0,16 = 0,84 \text{ т.}$$

$$\text{Проверка: } 0,96 + 0,84 = 1,8 \text{ т.}$$

## 2-я смена

Приход, т		Расход, т	
Соль	$0,96 + 0,5 = 1,46$	Раствор: соль вода	5 $0,2 \cdot 5 = 1$ $5 - 1 = 4$
Вода	$0,84 + 3,5 = 4,34$	Потери раствора: соль вода	$5 \cdot (1 - 0,96) = 0,2$ $0,2 \cdot 0,2 = 0,04$ $0,2 - 0,04 = 0,16$
<i>Итого</i>	5,8	<i>Итого</i>	5,2

Остаток к концу 2-й смены: приход — расход =  $5,8 - 5,2 = 0,6$  т.

$$m_{\text{соль, ост.2}} = 1,46 - 1 - 0,04 = 0,42 \text{ т,}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O, ост.1}} = 4,34 - 4 - 0,16 = 0,18 \text{ т.}$$

$$\text{Проверка: } 0,42 + 0,18 = 0,6 \text{ т.}$$

Загрязнение окружающей среды:

$$m_{\text{соль, сброс}} = 2 \cdot 0,04 = 0,08 \text{ т.}$$

**Ответ:**

$$m_{\text{H}_2\text{O, ост.}} = 0,18 \text{ т,} \quad m_{\text{соль, ост.}} = 0,42 \text{ т,} \quad m_{\text{соль, сброс}} = 0,08 \text{ т.}$$

## Задача 6

Будет ли соответствовать нормативам состав воздуха в городской черте, если построить предприятие, после выбросов которого загрязняющие вещества будут присутствовать в воздухе в следующих концентрациях ( $\text{мг/м}^3$ ): диоксид серы — 0,04, угарный газ — 0,9, диоксид азота — 0,05. Принять фоновую концентрацию для всех соединений равной 30 % от ПДК<sub>СС</sub>.

**Дано:**

$$C_{\text{SO}_2} = 0,04 \text{ мг/м}^3, \quad C_{\text{CO}} = 0,9 \text{ мг/м}^3, \quad C_{\text{NO}_2} = 0,05 \text{ мг/м}^3.$$

**Справочные величины:**

$$\text{ПДК}_{\text{cc, SO}_2} = 0,05 \text{ мг/м}^3, \quad \text{ПДК}_{\text{мр, SO}_2} = 0,5 \text{ мг/м}^3,$$

$$\text{ПДК}_{\text{cc, NO}_2} = 0,04 \text{ мг/м}^3, \quad \text{ПДК}_{\text{мр, NO}_2} = 0,085 \text{ мг/м}^3,$$

$$\text{ПДК}_{\text{cc, CO}} = 3,0 \text{ мг/м}^3, \quad \text{ПДК}_{\text{мр, CO}} = 5,0 \text{ мг/м}^3.$$

**Решение:**

При проектировании предприятий в районах, где атмосферный воздух уже загрязнен выбросами от других, ранее построенных предприятий, нормирование выбросов строящегося предприятия ограничивают с учетом присутствующих в воздухе примесей. Содержание этих примесей рассматривают в качестве фоновой концентрации  $C_{\phi}$ .

1) Фоновая концентрация  $C_{\phi}$  каждого компонента в воздухе:

$$C_{\phi, i} = 0,3 \cdot \text{ПДК}_{\text{cc, } i},$$

$$C_{\phi, \text{SO}_2} = 0,3 \cdot 0,05 = 0,015 \text{ мг/м}^3,$$

$$C_{\phi, \text{CO}} = 0,3 \cdot 3,0 = 0,9 \text{ мг/м}^3,$$

$$C_{\phi, \text{NO}_2} = 0,3 \cdot 0,04 = 0,012 \text{ мг/м}^3.$$

2) Если имеется несколько источников выбросов вредных веществ, то требования к качеству воздуха населенных пунктов определяются следующим образом:

$$C_i = \sum_{i=1}^n C_{\text{max, } i} \leq 0,3 \cdot \text{ПДК}_{\text{мр}} - C_{\phi}.$$

SO <sub>2</sub>	$0,04 \leq 0,3 \cdot 0,5 - 0,015$	$0,04 \leq 0,135$	верно
CO	$0,9 \leq 0,3 \cdot 5 - 0,9$	$0,9 \leq 0,6$	неверно
NO <sub>2</sub>	$0,05 \leq 0,3 \cdot 0,085 - 0,012$	$0,05 \leq 0,0135$	неверно

**Ответ:** в атмосферном воздухе будет превышено содержание угарного газа и диоксида серы, значит, такое предприятие строить нельзя.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная

- Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / С. В. Белов, А. В. Ильницкая, А. Ф. Козьяков и др. ; под общ. ред. С. В. Белова. 6-е изд., испр. и доп. М. : Высш. школа, 2006. 616 с.
- Иониты в химической технологии / под ред. Б. П. Никольского и П. Г. Романкова. Л. : Химия, 1982. 416 с.
- Лотош В. Е.* Технологии основных производств в природопользовании / В. Е. Лотош. 4-е изд., доп. Екатеринбург, 2007. 561 с.
- Охрана окружающей среды : учебник для технических специальностей вузов / под ред. С. В. Белова. 2-е изд., испр. и доп. М. : Высш. школа, 1991. 319 с.
- Родионов А. И.* Техника защиты окружающей среды : учебник для вузов / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торощечников. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Химия, 1989. 512 с.

### Дополнительная

- Водоподготовка : справочник / под ред. С. Е. Беликова. М. : Аква-Терм, 2007. 240 с.
- Ковалева Н. Г.* Биохимическая очистка сточных вод предприятий химической промышленности / Н. Г. Ковалева, В. Г. Ковалев. М. : Химия, 1987. 160 с.
- Общая токсикология / под ред. Б. А. Курляндского, В. А. Филова. М. : Медицина, 2002. 608 с.
- Удаление металлов из сточных вод. Нейтрализация и осаждение : пер. с англ. / под ред. Дж. К. Кушни. М. : Металлургия, 1987. 176 с.
- Экологическое право : учебник для вузов / под ред. С. А. Боголюбова. М. : Высш. образование, 2006. 485 с.
- Экология наноматериалов : учеб. пособие / А. Ю. Годымчук, Г. Г. Савельев, А. П. Зыкова ; под ред. Л. Н. Патрикеева и А. А. Ревинной. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 272 с.

*Яковлев С. В.* Очистка производственных сточных вод : учеб. пособие для вузов / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, Ю. М. Ласков и др. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1985. 335 с.

## **Нормативные документы**

ГН 2.1.5.1315–03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

СанПиН 2.1.6.1032–01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест».

СанПиН 2.1.7.1322–03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления».

СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

СН 2.2.4/2.1.8.566–96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Учебное издание

Иканина Елена Васильевна  
Марков Вячеслав Филиппович

## ОСНОВЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Учебное пособие

Заведующий редакцией *М. А. Овечкина*  
Редактор *С. Г. Галинова*  
Корректор *С. Г. Галинова*  
Компьютерная верстка *Н. Ю. Михайлов*

План выпуска 2017 г. Подписано в печать 01.11.2017.  
Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура Times.  
Уч.-изд. л. 5,2. Усл. печ. л. 5,8. Тираж 50 экз. Заказ № 250.

Издательство Уральского университета  
620000, Екатеринбург-83, ул. Тургенева, 4

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ  
620000, Екатеринбург-83, ул. Тургенева, 4

Тел.: +7 (343) 350-56-64, 358-93-22

Факс: +7 (343) 358-93-06

E-mail: [press-urfu@mail.ru](mailto:press-urfu@mail.ru)

<http://print.urfu.ru>

